ESTADO DE SÃO PAULO

ATLAS geoquímico

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM

ATLAS GEOQUÍMICO DO ESTADO DE SÃO PAULO

PROJETO LEVANTAMENTO GEOQUÍMICO DE BAIXA DENSIDADE DO ESTADO DE SÃO PAULO

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado
Alexandre Silveira de Oliveira

Secretária de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
Vitor Eduardo de Almeida Saback

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB)

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente interino
Cassiano de Souza Alves

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial
Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais interino
Paulo Afonso Romano

Diretor de Infraestrutura Geocientífica
Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças
Cassiano de Souza Alves

Chefe do Departamento de Gestão Territorial – DEGET
Diogo Rodrigues A. da Silva

Divisão de Gestão Territorial - DIGATE
Maria Adelaide Mansini Maia

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE SÁO PAULO

Superintendente Regional de São Paulo
Lauro Gracindo Pizzato – Geólogo

Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial
Vanesca Sartorelli Medeiros

Supervisão da Hidrogeologia e Gestão Territorial
Andrea Segura Franzini

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

ATLAS GEOQUÍMICO DO ESTADO DE SÃO PAULO

PROJETO LEVANTAMENTO GEOQUÍMICO DE BAIXA DENSIDADE DO ESTADO DE SÃO PAULO

FELIPE BRITO MAPA

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM

São Paulo
2023

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM

CRÉDITOS TÉCNICOS

Departamento de Gestão Territorial
Diogo Rodrigues A. da Silva

Divisão de Gestão Territorial
Maria Adelaide Mansini Maia

Coordenação Técnica
Eduardo Paim Víglio, MSc.

Execução Técnica
Geol. Felipe Brito Mapa
Geol. Roberto Loreti Junior
Geol. Marco Aurélio da Silva Carvalho
Tec. Clézio Ribeiro dos Santos
Tec. Luiz Lopes Moreira
Tec. Reinaldo Rodrigues Gama
Tec. Roylane Barbosa
Tec. Sergio Roberto Estevam de Carvalho
Aux. de Campo Antônio Carmo de Rosa
Aux. de Campo Augusto Celso Fernandes de Almeida
Aux. de Campo Luiz Alberto Santiago
Aux. de Campo Osni Lourenço
Aux. de Campo Rudson Rodrigues Gama
Aux. de Campo Vinicius Correia Brito

Estagiários
Felipe Justino da Silva
Luis Felipe Amade
Tiago Gonçalves Cardoso

Montagem Final
Geol. Felipe Brito Mapa
Geol. Eduardo Paim Víglio
Geol. André Luís Invernizzi
Geol. Maria Cecília de Medeiros Silveira
Geol. Deborah Ribeiro Baptista
Geol. Enjolras de Albuquerque Medeiros Lima

Revisão Linguística
Irinéa Barbosa da Silva
Beatriz Siqueira (estagiária)
André Luís Invernizzi
Maria Cecília de Medeiros Silveira

Revisão Bibliográfica
DIDOTE

Editoração
DIEDIG - Divisão de Editoração Geral
Lucas Victor de Alcantara Estevão
Projeto Gráfico
Juliana Colussi de Gouvea
Diagramação
Maria Tereza da Costa Dias

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
CPRM – Serviço Geológico do Brasil
DIDOTE – Processamento Técnico

M297a Mapa, Felipe Brito.
Atlas geoquímico do estado de São Paulo/Felipe Brito Mapa. - São Paulo: CPRM, 2023.
1 recurso eletrônico : PDF

Projeto levantamento geoquímico de baixa densidade do estado de São Paulo.

ISBN 978-65-5664-374-8

1.Geouímica – Atlas – São Paulo. I. Título.

CDD 551.9098161

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Teresa Rosenhayme CRB/7 5662

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

INTRODUÇÃO 13

LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIOGRÁFICOS 13

Clima 15

Geomorfologia 18

Hidrografia 20

Atividades econômicas 22

Uso e ocupação do solo 22

GEOLOGIA, GEOQUÍMICA E RECURSOS MINERAIS 24

MATERIAIS E MÉTODOS 30

Coleta de amostras de água, sedimentos de corrente e solo 30

Análises químicas 30

Tratamento estatístico dos dados analíticos 30

RESULTADOS 32

PARÂMETROS LEGAIS E SUMÁRIOS ESTATÍSTICOS 33

ELEMENTOS ANALISADOS 39

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 75

Água de superfície 75

Sedimento de corrente 79

Solo 84

CONSIDERAÇÕES FINAIS 87

MAPAS GEOQUÍMICOS 88

REFERÊNCIAS 232

SUMÁRIO DE FIGURAS, GRÁFICOS, QUADROS, TABELAS E MAPAS GEOQUÍMICOS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo. 14

Figura 2 - Classificação do clima no estado de São Paulo pelo sistema internacional de Koppen-Geiger. 15

Figura 3 - Classificação do clima no estado de São Paulo. 16

Figura 4 - Cobertura vegetal no estado de São Paulo. 17

Figura 5 - Mapa pedológico do estado de São Paulo. 17

Figura 6 - Divisão geomorfológica do estado de São Paulo, com a subdivisão das províncias, zonas e subzonas de relevo. 18

Figura 7 - Compartimentos do relevo no estado de São Paulo. 19

Figura 8 - Modelo digital de elevação para o estado de São Paulo obtido através da imagem do Shuttle Radar Topography Mission. 20

Figura 9 - Regiões hidrográficas no estado de São Paulo. 21

Figura 10 - Principais rios do estado de São Paulo. 21

Figura 11 - Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), com suas respectivas bacias hidrográficas. 22

Figura 12 - Divisão dos municípios e regiões administrativas do estado de São Paulo e distribuição populacional. 23

Figura 13 - Uso e ocupação do solo no estado de São Paulo. 24

Figura 14 - Mapa tectônico geológico do estado de São Paulo (modificado de Bistrichi *et al.,* 1981; Perrota et al., 2006). 25

Figura 15 - Mapa tectônico geológico da Província Mantiqueira (Heilbron *et al.,* 2004). 26

Figura 16 - Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná (MILANI, 2004). 27

Figura 17 - Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná (MILANI, 2004). 28

Figura 18 - Coleta de amostras em campo; (A) parâmetros físico-químicos; (B) água de drenagem; (C) sedimento de corrente; (D) solo. 31

Figura 19 - Estações de amostragem do levantamento geoquímico de baixa densidade no estado de São Paulo. 32

Figura 20 - Variação do background geoquímico para todo o estado de São Paulo para os parâmetros químicos do grupo um, obtidos a partir dos resultados geoquímicos da água de superfície de drenagem. 76

Figura 21 - Variação da concentração geoquímica para todo o estado de São Paulo para os parâmetros químicos do grupo dois e três obtidos a partir dos resultados geoquímicos da água de superfície. O background geoquímico desses elementos não pôde ser estabelecido devido ao viés composicional criado pelo elevado volume de dados qualificados (abaixo do limite de detecção do método analítico). 76

Figura 22 - Estações anômalas em água de drenagem com valores acima do limite estabelecido pela legislação brasileira para qualidade da água doce, para 16 parâmetros (elementos-traços). 78

Figura 23 - Variação do background geoquímico para todo o estado de São Paulo para os parâmetros químicos do grupo um, obtidos a partir dos resultados geoquímicos de sedimentos de corrente de drenagem. 80

Figura 24 - Variação da concentração geoquímica para todo o estado de São Paulo, para os parâmetros químicos dos grupos dois e três obtidos a partir dos resultados geoquímicos de sedimentos de corrente. 80

Figura 25 - Mapa geoquímico multivariado de escores fatoriais para todo o estado de São Paulo. (A): associação geoquímica U-Th-La-Ce-Y-Rb-Cs (Fator 1); (B): associação geoquímica CoCu-Fe-V-Sc-Ni-Mn-Ba (Fator 2). 81

Figura 26 - Variação do background geoquímico para todo o estado de São Paulo para os parâmetros químicos do grupo um, obtidos a partir dos resultados geoquímicos de solos. 86

Figura 27 - Variação da concentração geoquímica para todo o estado de São Paulo para os parâmetros químicos do grupo dois e três obtidos a partir dos resultados geoquímicos de solo. 86

Figura 28 - Mapa de escores fatoriais para solos, ressaltando as principais províncias geoquímicas no estado. 87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Participação do valor bruto de produção no estado de São Paulo por setor de atividade e mesorregião. 23

Tabela 2 - Principais bens minerais produzidos no estado de São Paulo (São Paulo, 2017). 29

Tabela 3 - Representação dos intervalos de classe nos mapas geoquímicos

em função da quantidade de valores quantificados (acima do limite de detecção do método analítico). 20

Tabela 4 - Sumário estatístico dos resultados analíticos de água de superfície (parâmetros cátions, ânions e físico-químicos). 34

Tabela 5 - Sumário estatístico dos resultados analíticos de sedimento de corrente. 35

Tabela 6 - Sumário estatístico dos resultados analíticos de solo. 36

Tabela 7 - Limites de referência para a qualidade da água doce e quantidade de estações de coleta com concentrações acima deste limite em todo o estado de São Paulo. 77

Tabela 8 - Limites de referência para a qualidade dos sedimentos em água doce e quantidade de estações de coleta com concentrações acima deste limite em todo o estado de São Paulo. 82

Tabela 9 - Limites de referência para a qualidade dos solos e quantidade de estações de coleta de solo que apresentaram concentrações acima deste limite em todo o estado de São Paulo. 84

LISTA DOS MAPAS GEOQUÍMICOS

Elementos

Ag 89
Al 90
As 91
Au 92
B 93
Ba 94
Be 95
Bi 96
Brometo 97
Ca 98
Cd 99
Ce 100
Cloreto 101
Co 102
Condutividade 103
Cr 104
Cs 105
Cu 106

F 107
Fe 108
Ga 109
Ge 110
Hf 111
Hg 112
In 113
K 114
La 115
Li 116
Mg 117
Mn 118
Mo 119
Nitrito 120
Nitrato 121
Na 122
Nb 123
Ni 124

APRESENTAÇÃO

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) tem a grata satisfação de disponibilizar à sociedade mais um produto da série Atlas Geoquímicos Estaduais do Brasil: o Atlas Geoquímico do Estado de São Paulo.

Este Atlas concentra informações geoquímicas que, além de permitirem a identificação de prováveis áreas com potencial mineral, são úteis e aplicáveis a estudos para a determinação da distribuição espacial e da abundância ou carência de elementos químicos ou substâncias de origem natural ou antropogênica no conhecimento do quimismo do meio físico, relacionados a diferentes áreas do conhecimento, tais como a agricultura, veterinária, saúde pública e monitoramento ambiental. Diversos tipos de doenças endêmicas têm sido explicados através de estudos de Geologia Médica – ciência que estuda a influência de fatores geológico-ambientais na distribuição geográfica de doenças humanas e de animais e vegetais.

No Atlas, são apresentados os mapas geoquímicos, acompanhados de um texto explicativo.

No âmbito da geoquímica ambiental e geologia médica, o SGB_CPRM tem dado destaque à Ação Levantamentos Geoquímicos, com o Projeto Mapeamento Geoquímico de Baixa Densidade, em desenvolvimento desde 2008, cujo objetivo é avaliar, em todo o território nacional, a composição do substrato rochoso, dos solos, dos sedimentos ativos de corrente e das águas de drenagem e de abastecimento humano. A metodologia de amostragem, armazenamento das amostras e análises químicas seguem os padrões geoquímicos estabelecidos pelo projeto IGCP-259 da UNESCO-IUGS, e pelo *Working Group on Global Geochemical Baseline*, do IUGS-IAGC. Os produtos finais deste projeto são os atlas geoquímicos estaduais e o banco de dados geoquímicos inserido no portal *on-line* GEOSGB, do SGB-CPRM. A utilização dessas informações estruturadas pode contribuir para a formulação de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento regional, assim como apoiar a tomada de decisões em bases sustentáveis.

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

ATLAS GEOQUÍMICO DO ESTADO DE SÃO PAULO

ATLAS GEOQUÍMICO DO ESTADO DE SÃO PAULO

INTRODUÇÃO

As técnicas de exploração geoquímica sempre tiveram viés para a pesquisa mineral, principalmente minérios metálicos, mas vêm sofrendo adaptações às novas necessidades da sociedade. Os métodos de exploração são aplicados ao estudo de locais com abundância e carência de substâncias naturais ou artificiais, relacionando-os às diversas áreas do conhecimento, como agronomia, veterinária, saúde pública e monitoramento ambiental. São chamados de levantamentos geoquímicos multipropósito ou multiúso ou de baixa densidade. Essa abordagem moderna de exploração geoquímica tem possibilitado a execução de projetos de abrangência regional ou nacional em diversas regiões da Terra. Países, como Canadá, Estados Unidos da América, Finlândia, Noruega, Inglaterra, Alemanha e China, já na década de 1970, e mais recentemente vários outros países, inclusive o Brasil, vêm elaborando levantamentos geoquímicos de baixa densidade. Esse enfoque da exploração geoquímica é componente essencial na descrição do ambiente natural.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) vem executando, em todo o território nacional, desde o ano de 2008, o projeto Levantamento Geoquímico de Baixa Densidade no Brasil. Esse projeto visa disponibilizar dados e informações para a pesquisa de novos depósitos minerais, fertilizantes naturais para a agricultura, fontes de contaminações naturais e antropogênicas, bem como elementos químicos nocivos ao meio ambiente, à saúde humana e animal. O projeto tem, também, como objetivo apoiar o projeto internacional de mapeamento geoquímico (*Internacional Geochemical Mapping Project*), no âmbito do IGCP (*International Geological Correlation Program*) número 259 da UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*) e IUGS (International *Union of Geological Sciences*). O IGCP-259 trouxe recomendações com base no princípio de que fenômenos geoquímicos estendem-se além das fronteiras nacionais e que a base das informações tem múltiplos propósitos e aplicações (DARNLEY *et al.*, 1995).

O projeto Levantamento Geoquímico de Baixa Densidade no Brasil baseia-se na amostragem de materiais de drenagens (água e sedimento de corrente) e regolitos (solos), cuja densidade amostral representa uma bacia de captação com área entre 100 e 200 km^2 (água/sedimento) e uma área de 700 km^2 (solo). As amostras de sedimento de corrente e solo são analisadas para 53 elementos químicos (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pd, Pb, Pt, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Tl, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn e Zr). As amostras de água de drenagem são analisadas para 28 cátions (Al, Sb, As, Ba, Be, B, Cd, Ca, Pb, Co, Cu, Cr, Sn, Sr, Fe, Li, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, K, Se, Si, Na, Ti, V e Zn) e 7 ânions (brometo, cloreto, fluoreto, fosfato, nitrato, nitrito e sulfato).

Os resultados do projeto executado no estado de São Paulo são apresentados a seguir na forma de atlas geoquímico. O levantamento no estado foi conduzido em três etapas. A primeira etapa compreendeu os trabalhos de campo e análises laboratoriais pelo período de quatro anos, de 2010 a 2013. Na segunda etapa, conduzida entre os anos de 2014 e 2015, executou-se o tratamento e interpretação dos dados adquiridos. Durante essa etapa foram publicados os primeiros trabalhos com os resultados parciais obtidos no estado, utilizando-se principalmente os dados de sedimento de corrente e solos (MAPA, 2016; SILVA *et al.*, 2017). A terceira e última etapa é a publicação deste atlas geoquímico, cujo conteúdo abrange todo o acervo de dados obtidos no projeto na forma de mapas geoquímicos unielementares para cada matriz analisada (solo, sedimento e água), acompanhados de estatística descritiva básica (medidas de tendência central, medidas de dispersão e suas representações gráficas: histograma e *boxplot*), e a descrição e a interpretação das distribuições elementares ao longo da área.

O Atlas Geoquímico do Estado de São Paulo vem, portanto, preencher mais uma lacuna do conhecimento geocientífico no Brasil, fornecendo dados geoquímicos robustos que subsidiam a delimitação de províncias geoquímicas regionais, suas associações e assinaturas geoquímicas, e a definição de valores de *background* natural geoquímico, e áreas de interesse para a pesquisa mineral e ambiental no estado de São Paulo.

LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

O estado de São Paulo possui vasto acervo de dados geográficos que o caracterizam em seus diversos aspectos físicos e ambientais. Dentre as diversas publicações disponíveis, destacam-se as oficiais dos órgãos

dos governos estadual e federal, tais como o Relatório de Qualidade Ambiental (SÃO PAULO, 2019a), os relatórios Plano Estadual de Recursos Hídricos 2020-2023 (SÃO PAULO, 2020), os boletins de análises estatísticas socioeconômicas e demográficas (SÃO PAULO, 2019b), além de mapas e sistemas de informações de dados georreferenciados dos governos estadual e federal.

O estado de São Paulo está localizado na Região Sudeste do país e possui extensão territorial igual à 248.222,801 km², equivalente a 2,9% do território brasileiro (IBGE, 2020). Limita-se com os estados do Rio de Janeiro, a nordeste, de Minas Gerais, a norte, de Mato Grosso do Sul, a oeste, e Paraná, a sul. A leste, limita-se com o Oceano Atlântico (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de estudo. Fonte: elaborado pelo autor.

Clima

O clima do estado, assim como o relevo, é bastante variado. O primeiro mapa do clima do estado foi publicado por Setzer (1966), adotando o método internacional de Koppen-Geiger. Essa classificação climática baseia-se em parâmetros empíricos desenvolvidos por meio das observações das médias anuais ou mensais de temperatura e precipitação. Nesta sistemática, o território paulista foi dividido em seis tipos climáticos: tropical com inverno seco; tropical sem estação seca; subtropical com inverno seco (quente e temperado); subtropical sem estação seca (quente e temperado) (Figura 2).

Martinelli (2010) faz uma revisão sobre o clima do estado e mostra uma compilação de mapas contendo a variação e a distribuição dos principais parâmetros que o condicionam. De acordo com o Mapa do Clima do Brasil (IBGE, 2002), que divide o clima brasileiro em cinco zonas principais, o estado de São Paulo está inserido majoritariamente na zona de clima tropical Brasil Central. Apenas o extremo sudeste do estado possui característica distinta. Essa região abarca a zona de clima temperado. Na classificação do IBGE, as zonas são divididas em subzonas, que conferem as variações na temperatura, e no tipo e distribuição da umidade (Figura 3).

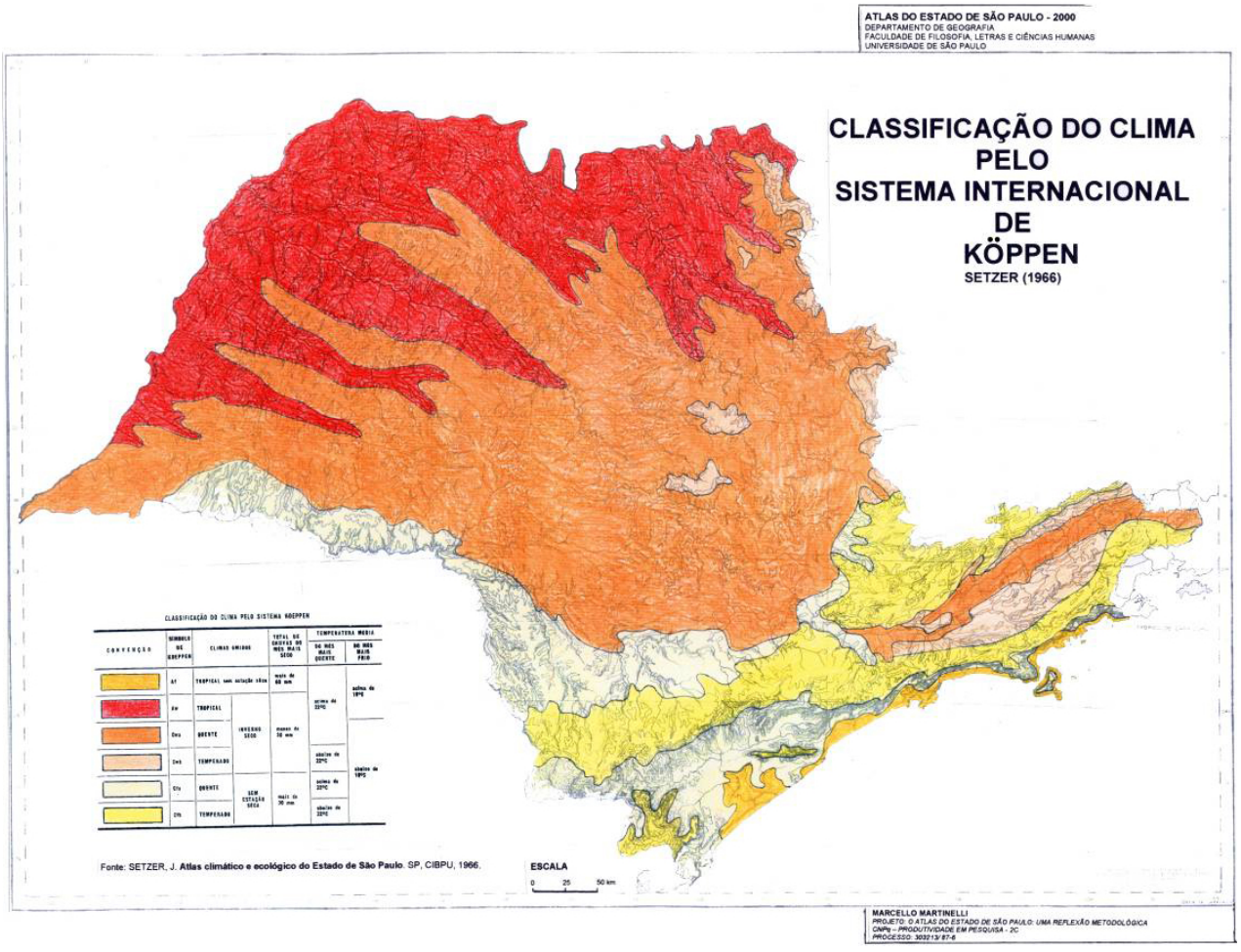


Figura 2 - Classificação do clima no estado de São Paulo pelo sistema internacional de Koppen-Geiger. Fonte: Setzer (1966) em Martinelli (2010).

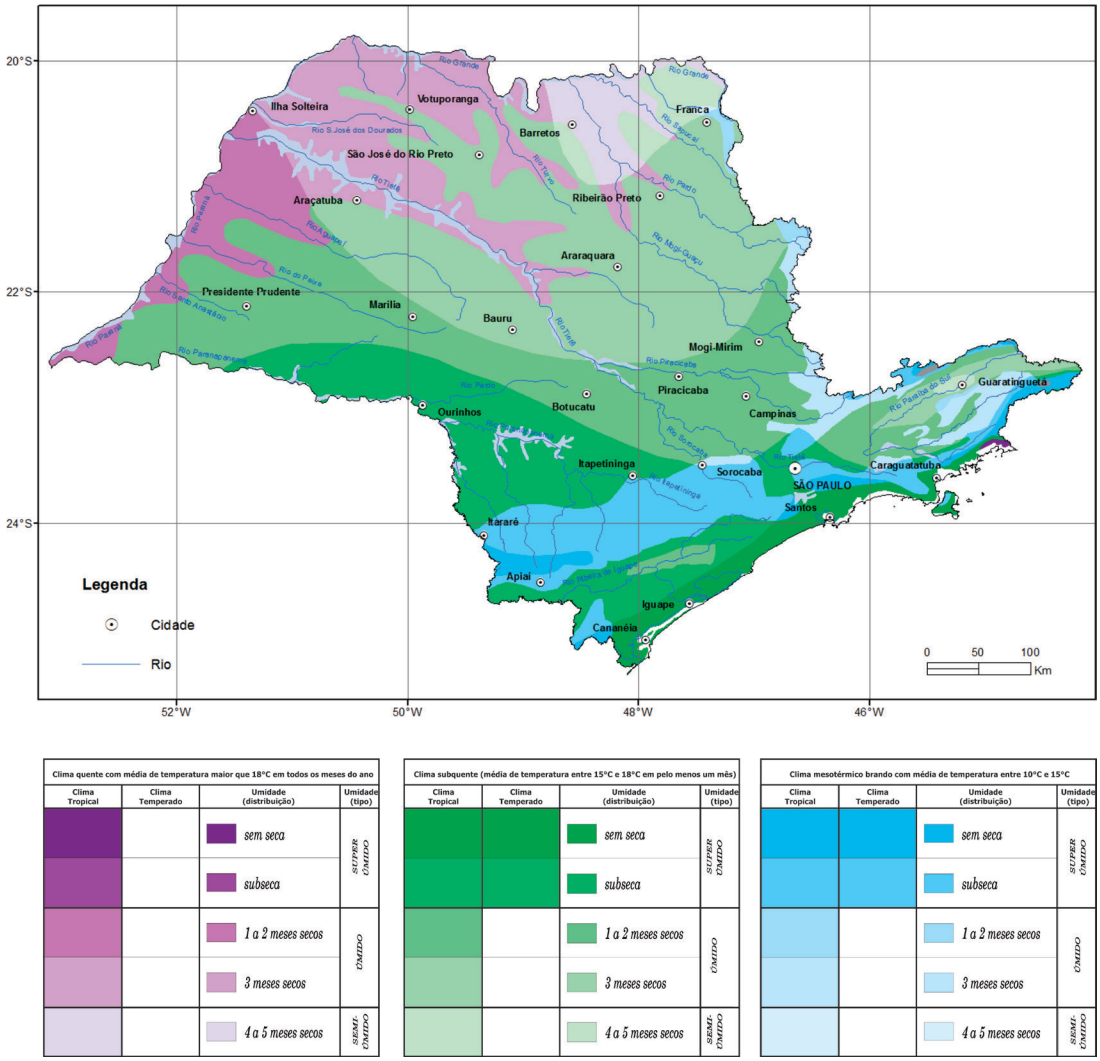


Figura 3 - Classificação do clima no estado de São Paulo. Fonte: modificado de IBGE. (2002).

Vegetação e solo

Dentre as principais zonas biogeográficas (biomas) que caracterizam a biodiversidade do território brasileiro (Floresta Amazônica, Pantanal, Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado e Pampas), o estado de São Paulo é recoberto, principalmente, pelos biomas Mata Atlântica e Cerrado, que, original e respectivamente, recobrem 83% e 14% da superfície do estado (SÃO PAULO, 2019a). Segundo os autores, a área original foi reduzida drasticamente, representando atualmente apenas 12% e 1%, respectivamente.

Com o objetivo de mapear os remanescentes de vegetação nativa no estado, o Instituto Florestal do Estado de São Paulo elaborou um inventário florestal de vegetação natural (PAULO, 2019a), em que consideram as seguintes categorias de vegetação (fitofisionomias): floresta estacional semidecidual, floresta ombrófila densa, floresta ombrófila mista, formação arbórea/arbustiva-herbácea de terrenos marinhos lodosos (mangue), formação arbórea/arbustiva em região de várzea, formação pioneira/arbustiva-herbácea sobre sedimentos marinhos recentes (restinga), savana, savana florestada, vegetação secundária da floresta estacional semidecidual, vegetação secundária da floresta ombrófila densa, vegetação secundária da floresta ombrófila mista (Figura 4).

Os diferentes tipos de solo foram classificados no trabalho de Rossi (2017), que fez uma extensa revisão da classificação pedológica do território paulista. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (OLIVEIRA *et al.*, 1999), o autor mapeou 247 unidades de solo, cuja síntese é apresentada no mapa pedológico do estado (Figura 5). Neste, são representadas as unidades de mapeamento simples de 1º e 2º níveis taxonômicos (ordem e subordem), distribuídas em 25 classes: Argissolos Amarelos, Vermelhos e Vermelho-Amarelos; Cambissolos Húmicos e Háplicos; Chernossolos Argilúvicos; Espodossolos Humilúvicos;

Gleissolos Melânicos, Tiomórficos, Háplicos e Sálicos; Latossolos Amarelos, Brunos, Vermelhos e Vermelho-Amarelos; Luvissolos Háplicos; Neossolos Litólicos, Quartzarênicos, Regolíticos e Flúvicos; Nitossolos Vermelhos; Organossolos Tiomórficos e Háplicos; Planossolos Háplicos; e Plintossolos Pétricos.

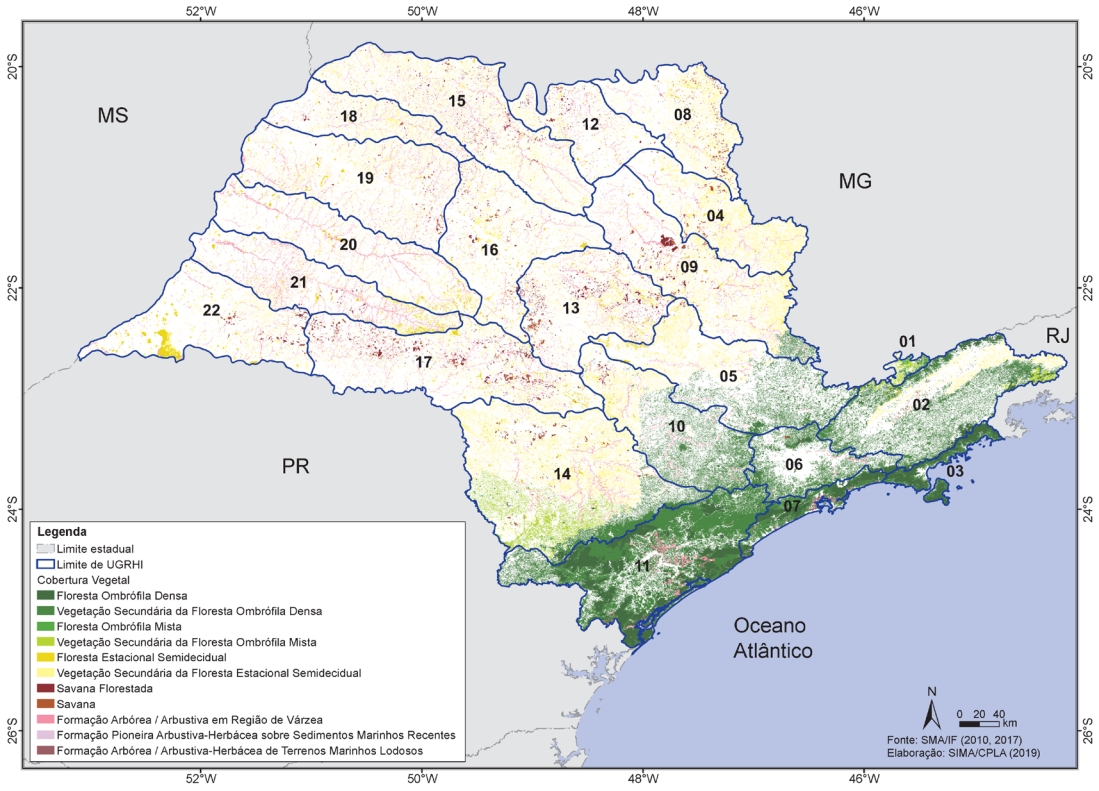


Figura 4 - Cobertura vegetal no estado de São Paulo. Fonte: São Paulo (2019a).

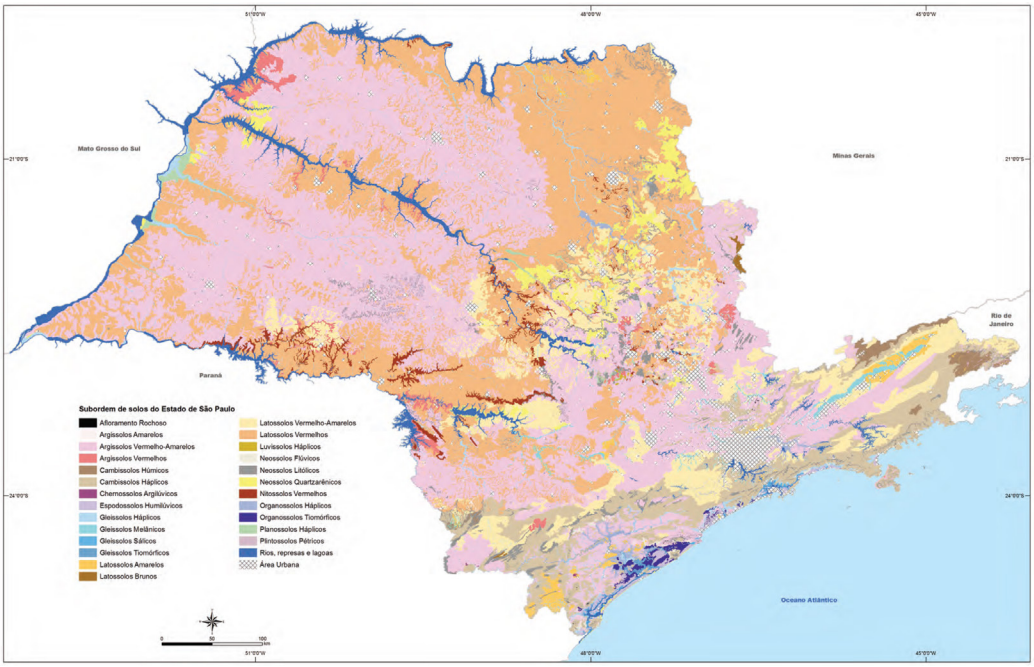


Figura 5 - Mapa pedológico do estado de São Paulo. Fonte: São Paulo (2017).

Geomorfologia

O relevo do estado é bastante diverso. As altitudes variam desde o 0m (nível do mar) até 2.798m (Serra da Mantiqueira). A representação cartográfica de sua compartimentação evoluiu ao longo do tempo. Considerando aspectos geológicos e geomorfológicos, Almeida (1964) subdividiu o relevo paulista em cinco províncias geomorfológicas: Planalto Atlântico; Província Costeira; Depressão Periférica; Cuestas Basálticas; e Planalto Ocidental (Figura 6).

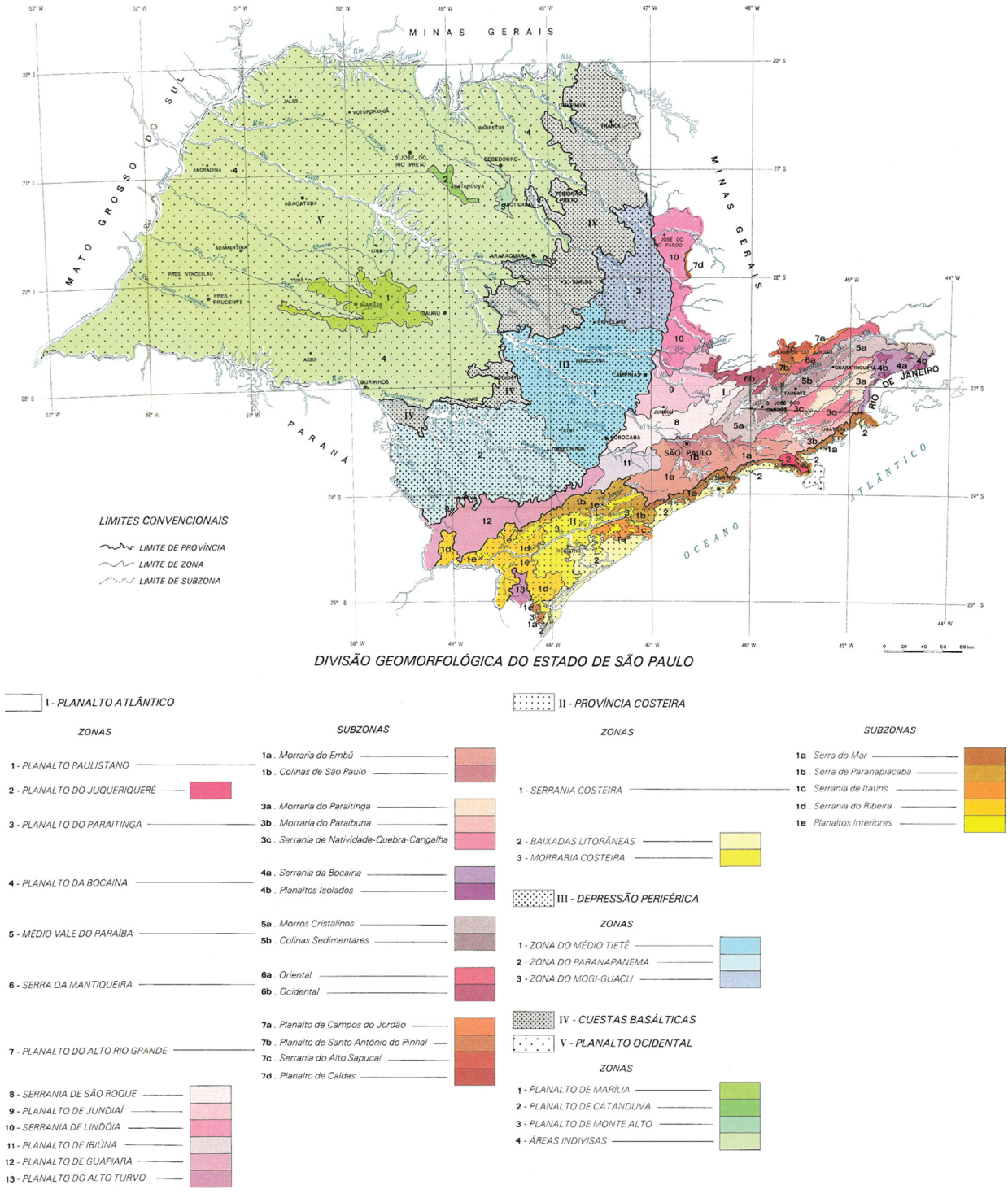


Figura 6 - Divisão geomorfológica do estado de São Paulo, com a subdivisão das províncias, zonas e subzonas de relevo. Fonte: Almeida (1964) em Carneiro (2018).

Martinelli (2009) apresenta uma síntese do relevo paulista, passando pelas propostas de subdivisão geomorfológicas de Moraes Rego (1932), Ab'Saber (1956), Almeida (1964), Instituto de Pesquisa Tecnológica, (IPT) (1981) e Ross e Moroz (1997), até culminar na compartimentação atual, apresentada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2006), cuja representação baseia-se nos conceitos de morfoestruturas e morfoesculturas.

O mapa de unidades de relevo apresentado pelo IBGE (2006) apresenta 12 subdivisões para o estado: Planícies Marinhas; Planícies Fluviais, Tabuleiros Costeiros, Planalto Central da Bacia do Paraná, Planalto Ocidental da Bacia do Paraná, Depressão Periférica Paulista, Serra da Mantiqueira, Serra do Mar, Planalto de Paranapiacaba, Serra da Canastra, Depressão do Rio Paraíba do Sul e Planalto de Poços de Caldas (Figura 7). Segundo Martinelli (2009), o mapa vem sendo publicado há vários anos pelo IBGE e foi incluído no Atlas do Brasil (IBGE, 2006).

Com o advento das imagens de satélite, o aspecto geral do relevo e sua compartimentação são observados com qualidade e precisão através dos modelos digitais de elevação obtidos pelo *Shuttle Radar Topography Mission* (Figura 8).

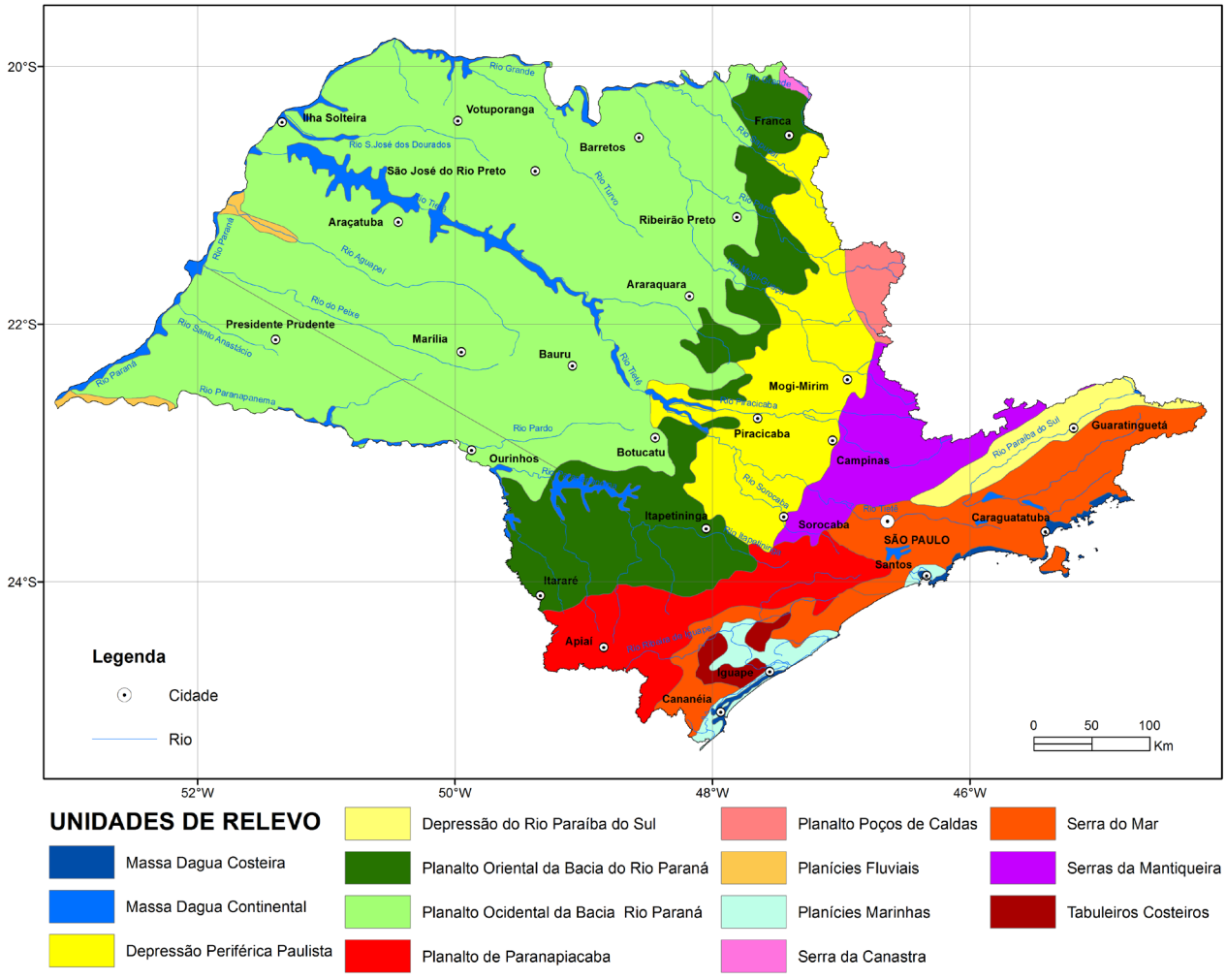


Figura 7 - Compartimentos do relevo no estado de São Paulo. Fonte: modificado de IBGE (2006).

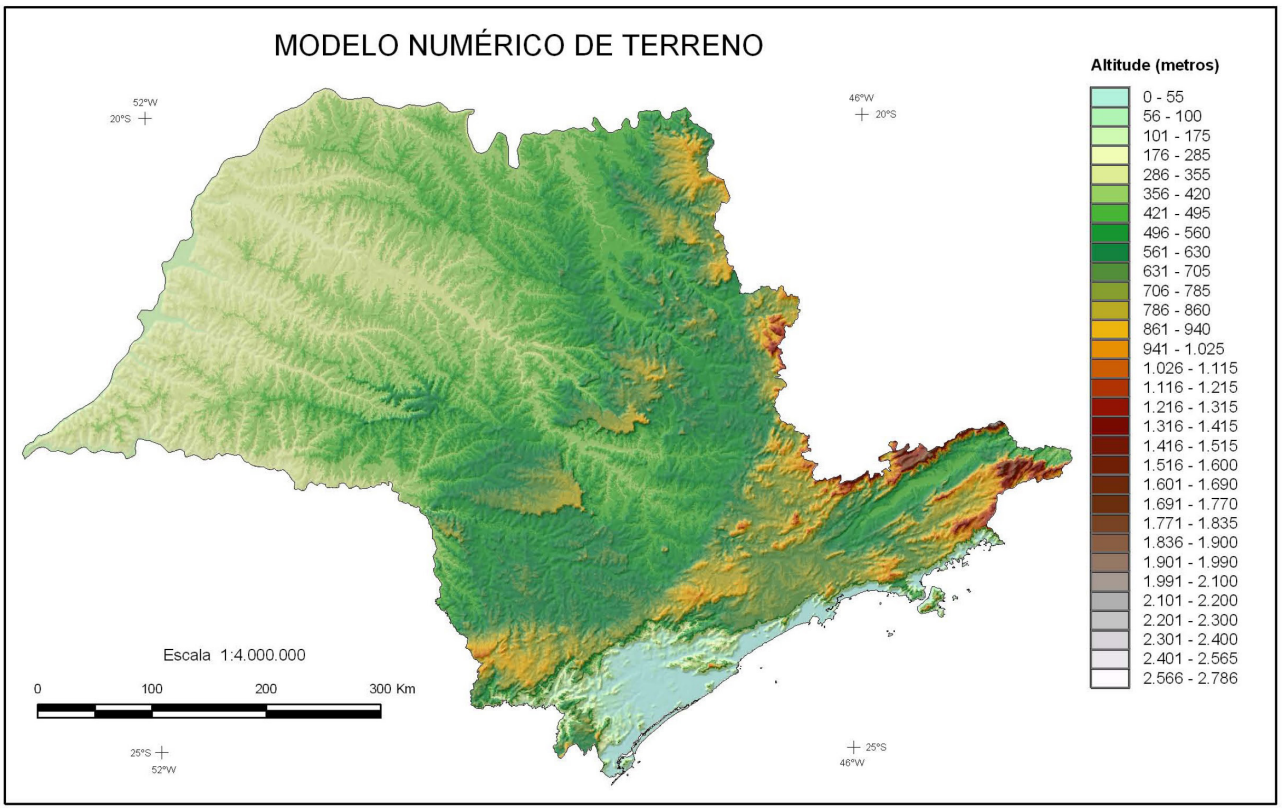


Figura 8 - Modelo digital de elevação para o estado de São Paulo obtido através da imagem do Shuttle Radar Topography Mission. Fonte: adaptado de Perrotta *et al* (2006).

Hidrografia

São Paulo tem a maior parte do seu território inserido na região hidrográfica do Paraná (Figura 9). Aproximadamente 85% da rede hidrográfica paulista pertence a essa bacia à exceção dos rios Ribeira de Iguape, Paraíba do Sul e outros de menor dimensão que drenam as escarpas da Serra do Mar e ruma para leste diretamente para o Oceano Atlântico, todos os demais grandes rios que compõem suas sub-bacias drenam rumo ao Rio Paraná, para o interior do estado, a oeste.

A principal bacia hidrográfica paulista é a do Rio Tietê, que corta praticamente toda a extensão do estado de leste a oeste. Ela separa duas importantes sub-bacias hidrográficas: a Bacia do Rio Paranapanema, a sul, e a Bacia do Rio Grande, a norte. Esses dois importantes rios também marcam a separação do território com os estados vizinhos. Ao todo, são 12 rios importantes e de grande ordem que compõem bacias ou sub-bacias no território paulista: Rio Ribeira de Iguape; Rio Paraíba do Sul; Rio Mogi-Guaçu; Rio Pardo; Rio Turvo; Rio São José dos Dourados; Rio Aguapeí, Rio do Peixe; Rio Paranapanema, Rio Grande, Rio Tietê e Rio Paraná (Figura 10).

Com o objetivo de facilitar as políticas de gerenciamento dos recursos hídricos, os órgãos públicos federal e estadual possuem legislações para promover a gestão descentralizada dos recursos hídricos, em níveis regional e municipal, adotando-se as bacias hidrográficas como unidades de gestão. Atualmente, o estado de São Paulo tem seu território dividido em 22 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), com suas respectivas bacias hidrográficas (Figura 11).

Essa divisão levou em consideração critérios hidrológicos, ambientais, socioeconômicos e administrativos, e foi motivada pela necessidade de viabilizar e otimizar fluxos técnico, político e administrativo, de forma que ambas as divisões, por bacia hidrográfica e por UGRHI, coexistissem na política estadual. Embora alguns limites sejam coincidentes, uma UGRHI não é uma "bacia hidrográfica", sendo, quando muito, uma "região hidrográfica reunindo diversas sub-bacias ou fragmentos de sub-bacias" (SÃO PAULO, 2020).

Figura 9 - Regiões hidrográficas no estado de São Paulo. Fonte: São Paulo (2020).

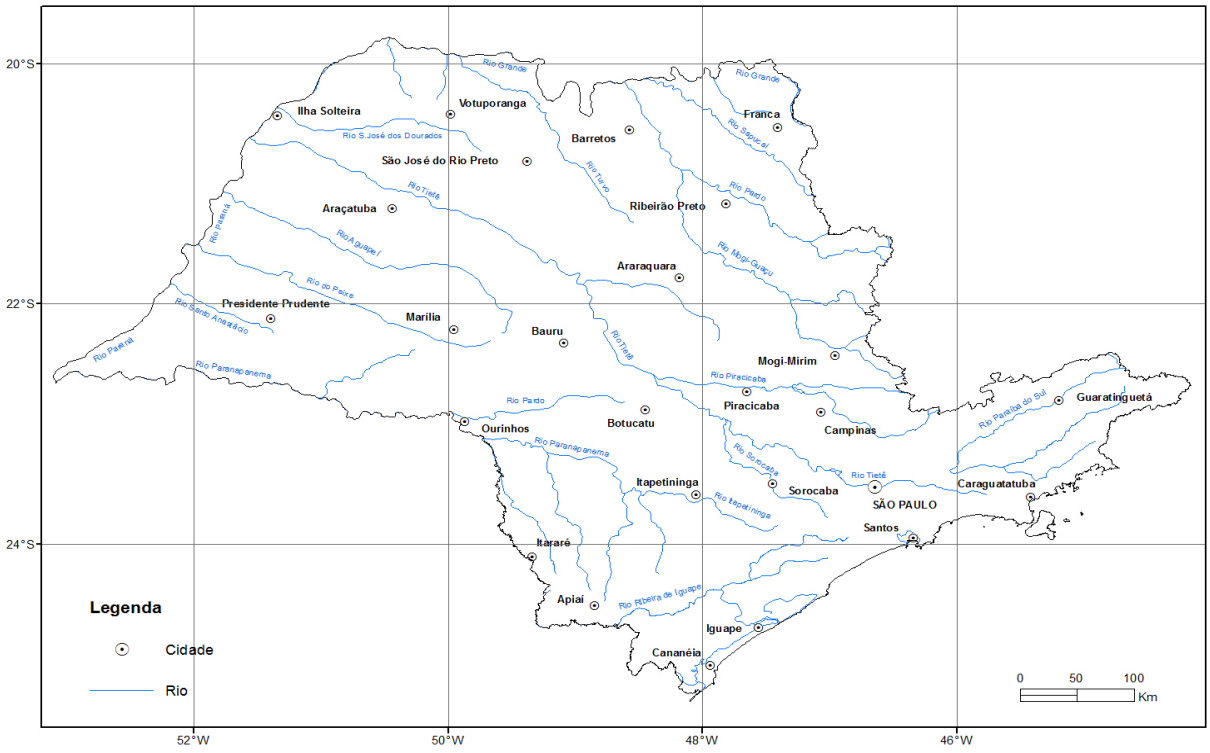


Figura 10 - Principais rios do estado de São Paulo. Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 11 - Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), com suas respectivas bacias hidrográficas. Fonte: São Paulo (2020).

Atividades econômicas

São Paulo é a unidade federativa mais populosa do Brasil, com aproximadamente 46,5 milhões de habitantes. Atualmente, sua população divide-se em 645 municípios e 15 regiões administrativas (mesorregião) (Figura 12). E, também, o estado mais desenvolvido da Federação. O Indice de Desenvolvimento Humano (IDH) do estado é considerado alto (0,783). O Produto Interno Bruto (PIB) estadual corresponde a 32% do total nacional, sendo o mais alto PIB *per capita* do país (SÃO PAULO, 2019b). Apesar dos altos indicadores socioeconômicos, como renda, IDH, produtividade e empregabilidade, o estado ainda possui desigualdades regionais substanciais.

A economia é bastante diversificada, destacando-se tanto no cenário nacional quanto no internacional. Além de ser considerada a capital financeira da América Latina, é a terceira maior fabricante de aviões do planeta. No cenário nacional, destaca-se na produção de automóveis, com 43% da produção nacional, e como maior produtor de suco de laranja e etanol. Possui destaque, ainda, na produção de eletrodomésticos e materiais de informática, elétricos e de transporte. O setor de comércio e serviços, especialmente o comércio atacadista, também é um importante setor na economia do estado. Na agricultura, é líder global na produção de açúcar, etanol e suco de laranja. Na indústria, destaca-se nas áreas de metal-mecânica, álcool e açúcar, têxtil, automobilística e aviação, sendo que atividades de alta e média-alta intensidades tecnológicas correspondem a 56% do valor da transformação industrial paulista. (SÃO PAULO, 2019b). A distribuição da participação de cada setor no território paulista (Tabela 1) mostra a variação da distribuição do valor bruto da produção para cada mesorregião nos anos de 2006 e 2016, evidenciando a concentração das atividades da indústria, dos serviços e da administração pública da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Uso e ocupação do solo

A setorização ou parcelamento do território em áreas com características semelhantes, quanto aos determinados aspectos físicos e ambientais, são intrínsecos à ocupação humana. Por isso, a análise e classificação do uso e ocupação da terra é essencial para fins de ordenamento territorial. São Paulo (2016a) classificou e hierarquizou as Unidades Homogêneas de Cobertura da Terra para ocupação, sendo possível visualizar o uso e ocupação do solo no estado (Figura 13).

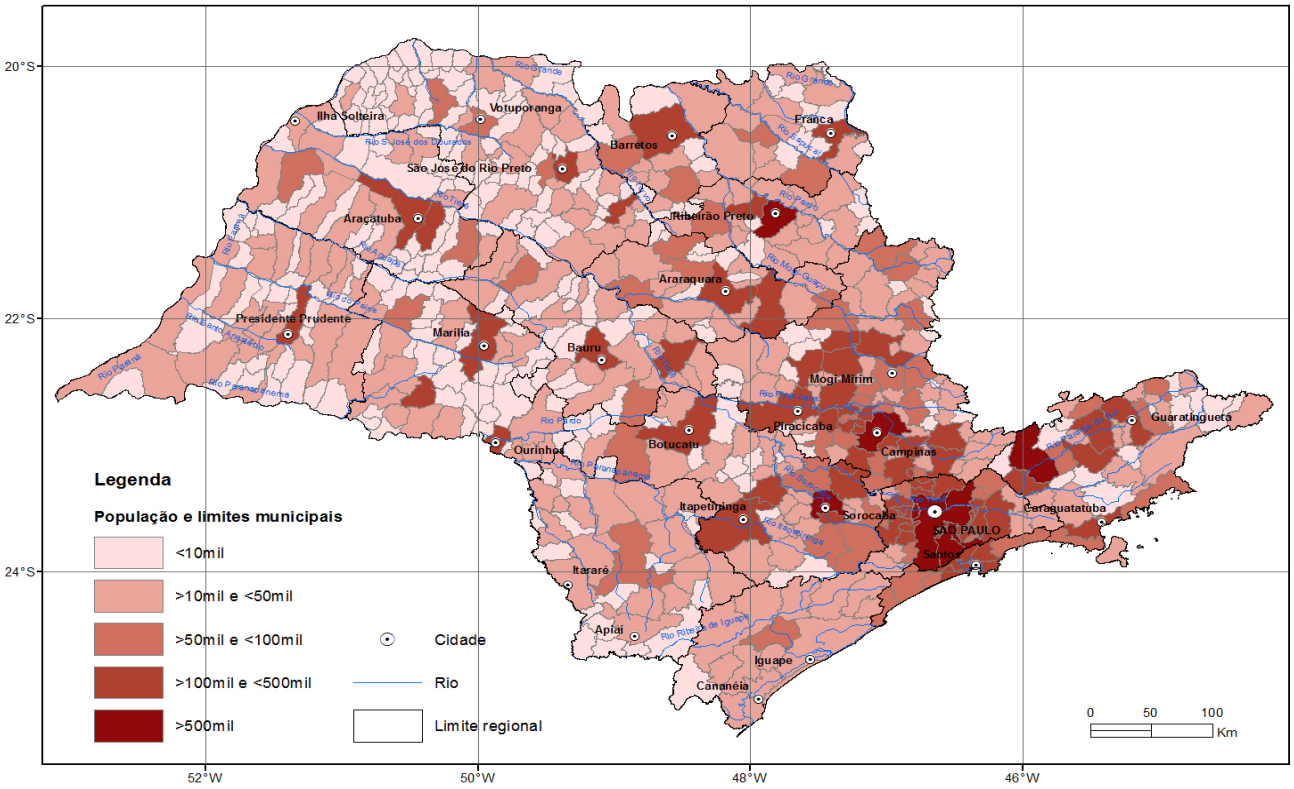


Figura 12 - Divisão dos municípios e regiões administrativas do estado de São Paulo e distribuição populacional.
Fonte: modificado de SÃO PAULO (2019c).

TABELA 1

Participação do valor bruto de produção no estado de São Paulo por setor de atividade e mesorregião
Fonte: SÃO PAULO (2019b).

MESOREGIÃO	% AGROPECUÁRIA		% INDÚSTRIA		% SERVIÇOS		% ADM PÚBLICA	
	2006	2016	2006	2016	2006	2016	2006	2016
Presiodente Prudente	4,57	6,35	1,24	2,08	1,20	1,03	2,02	2,02
São José do Rio Preto	13,47	12,43	2,26	3,33	2,67	2,30	3,68	3,89
Campinas	11,71	9,54	11,44	14,95	8,23	8,67	9,82	9,85
Bauru	9,90	8,81	2,26	4,09	2,47	2,19	3,26	3,48
Piracicaba	5,72	3,42	3,84	4,56	2,60	2,50	3,29	3,52
Itapetininga	6,36	9,40	1,37	1,40	1,02	0,89	1,90	1,97
Ribeirão Preto	19,69	15,25	5,05	5,52	4,61	4,18	5,64	5,95
Araçatuba	4,52	5,40	1,57	1,96	1,03	0,95	1,72	1,73
Macro RMSP	4,44	7,91	7,59	9,45	5,34	6,53	6,01	6,84
Marília	1,44	3,49	0,45	0,63	0,68	0,63	1,06	1,05
Araraquara	7,47	3,94	2,19	2,22	1,41	1,33	1,91	2,00
Vale do Paraíba	1,68	1,24	7,42	8,19	4,24	3,86	5,68	5,70
RMSP	1,97	4,27	52,34	40,33	63,17	63,77	51,48	49,48
Assis	5,22	4,83	0,74	0,89	0,83	0,71	1,34	1,33
Litoral Sul	1,82	3,70	0,25	0,38	0,50	0,46	1,18	1,19
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

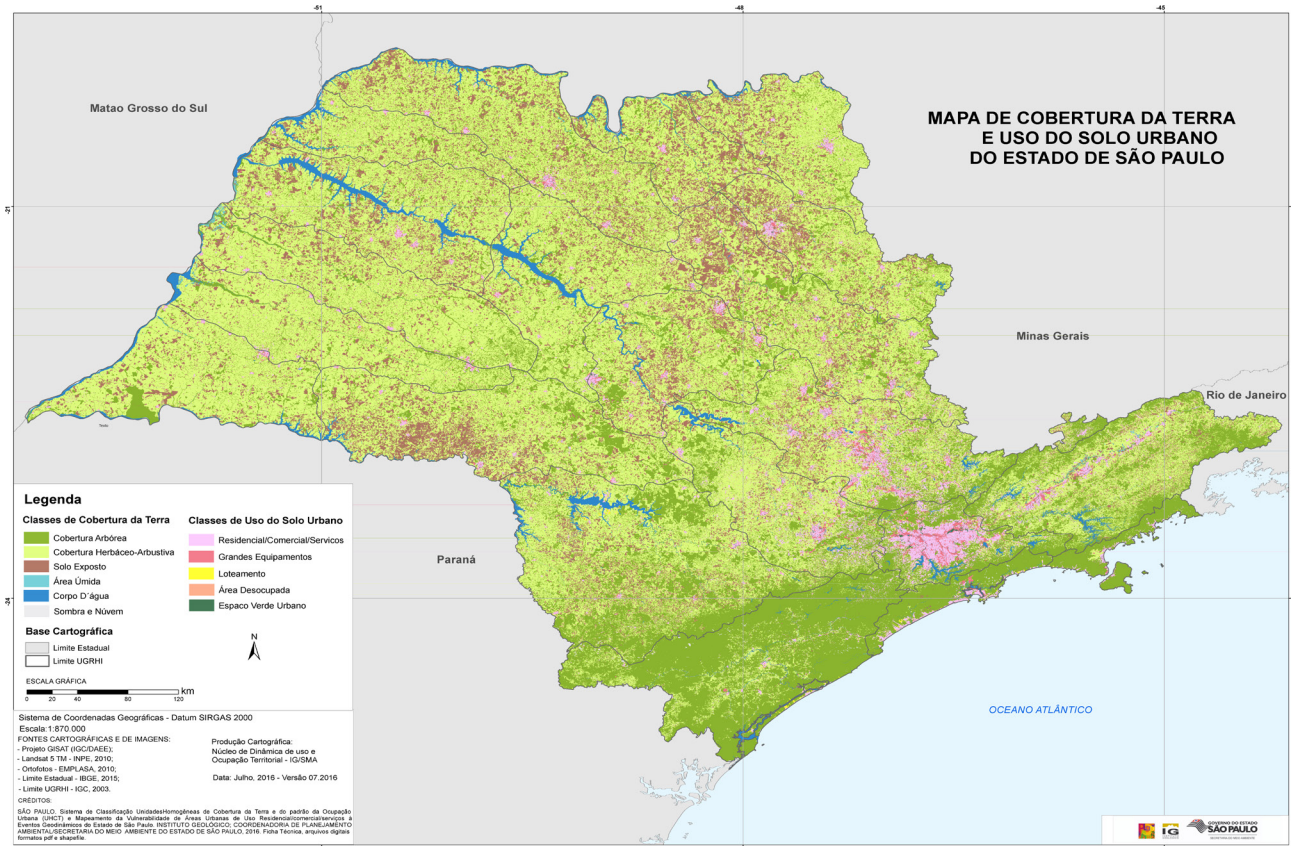


Figura 13 - Uso e ocupação do solo no estado de São Paulo. Fonte: São Paulo (2016a).

GEOLOGIA, GEOQUÍMICA E RECURSOS MINERAIS

A geologia do estado está inserida dentro da Plataforma Sul-Americana e as rochas que a compõem retratam um tempo geológico bastante amplo e descontínuo. Basicamente, a área do estado está dividida em duas grandes unidades (Figura 14) da plataforma: (A) a oeste, a Bacia do Paraná, paleomesozoica, que representa a cobertura da plataforma e é composta predominantemente por rochas sedimentares e rochas vulcânicas e subvulcânicas básicas a ácidas da Formação Serra Geral; (B) a leste, o Complexo Cristalino arqueano-proterozóico que representa o embasamento da plataforma, composto predominantemente por rochas metamórficas e ígneas.

O Complexo Cristalino está inserido na Província da Mantiqueira Central, definida por Almeida *et al.* (1981), e sua extensão, com mais de 3.000 km de comprimento e paralela à costa brasileira, estende-se desde o paralelo 15º S, na Bahia, até o Uruguai. O segmento central dessa província compreende o Orógeno Ribeira, a zona de interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira e os terrenos Apiaí, São Roque e Embu. Complexo Cristalino é o termo usualmente utilizado no estado de São Paulo para definir a área do Cinturão Ribeira. A divisão tectônica-estratigráfica do Cinturão Ribeira ainda é intensamente discutida pelos pesquisadores que estudam a região. Atualmente, o Cinturão Ribeira é reconhecido pela presença de diversos blocos retrabalhados de origens distintas (Figura 15), incluindo rochas antigas de embasamento alóctones, suítes de rochas vulcano-sedimentares mesoproterozoicas e neoproterozoicas e suítes de granitoides intrusivos de afinidade diversa (FALEIROS; MORAIS; COSTA, 2012). No sul do estado de São Paulo, o Complexo Cristalino é formado, de leste para oeste, pelos terrenos Paranaguá, Luís Alves, Curitiba e Apiaí. No norte do estado, o Complexo Cristalino é formado, de leste para oeste, pelos terrenos Costeiro, Embu, São Roque e pela Nappe Socorro-Guaxupé. Os limites entre os terrenos são representados por lineamentos NE-SW, expressivos e classificados como falhas de empurrão ou zonas de cisalhamento oblíquas transpressivas (HEILBRON *et al.*, 2004).

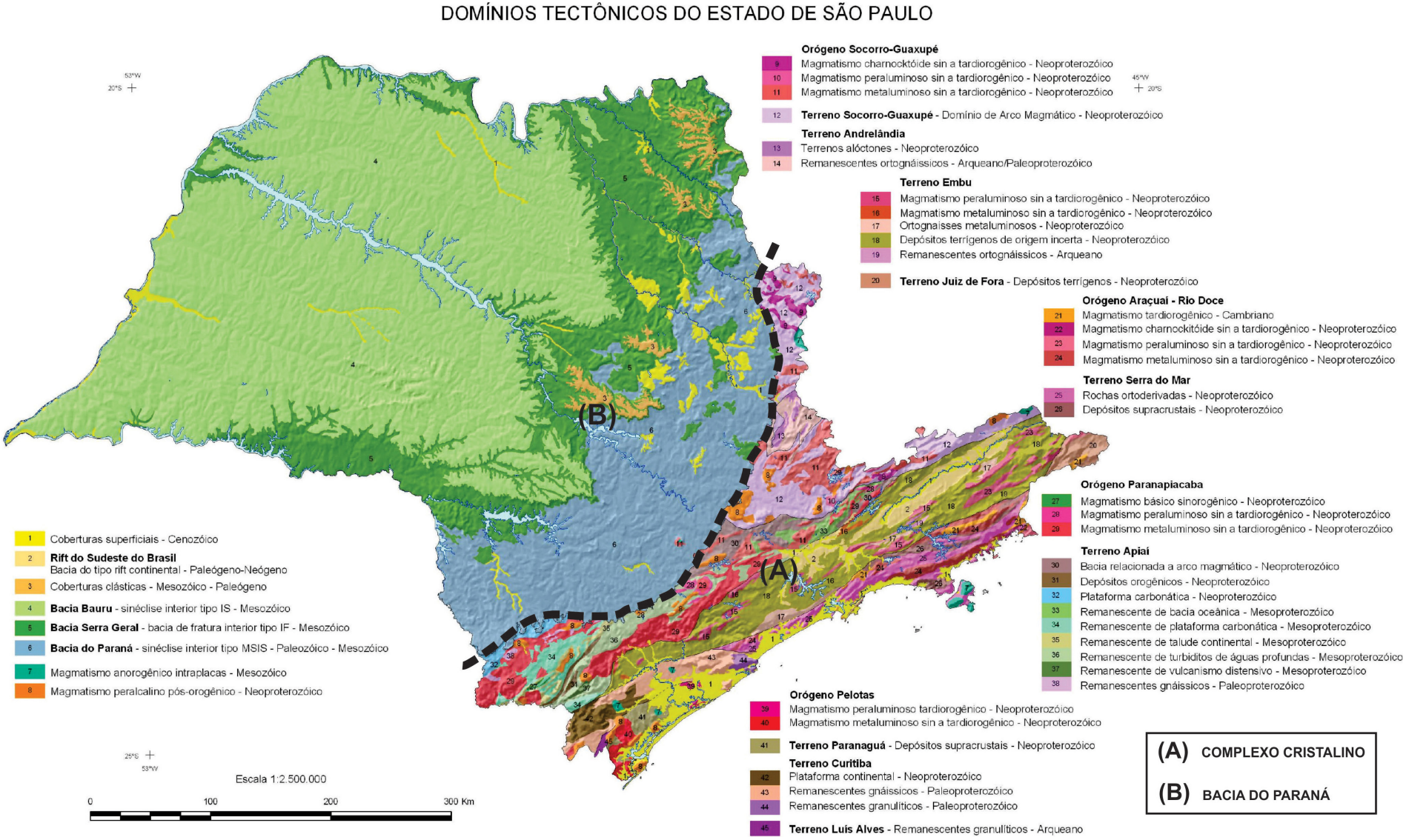


Figura 14 - Mapa tectônico geológico do estado de São Paulo (modificado de Bistrichi *et al.*, 1981; Perrota *et al.,* 2006).

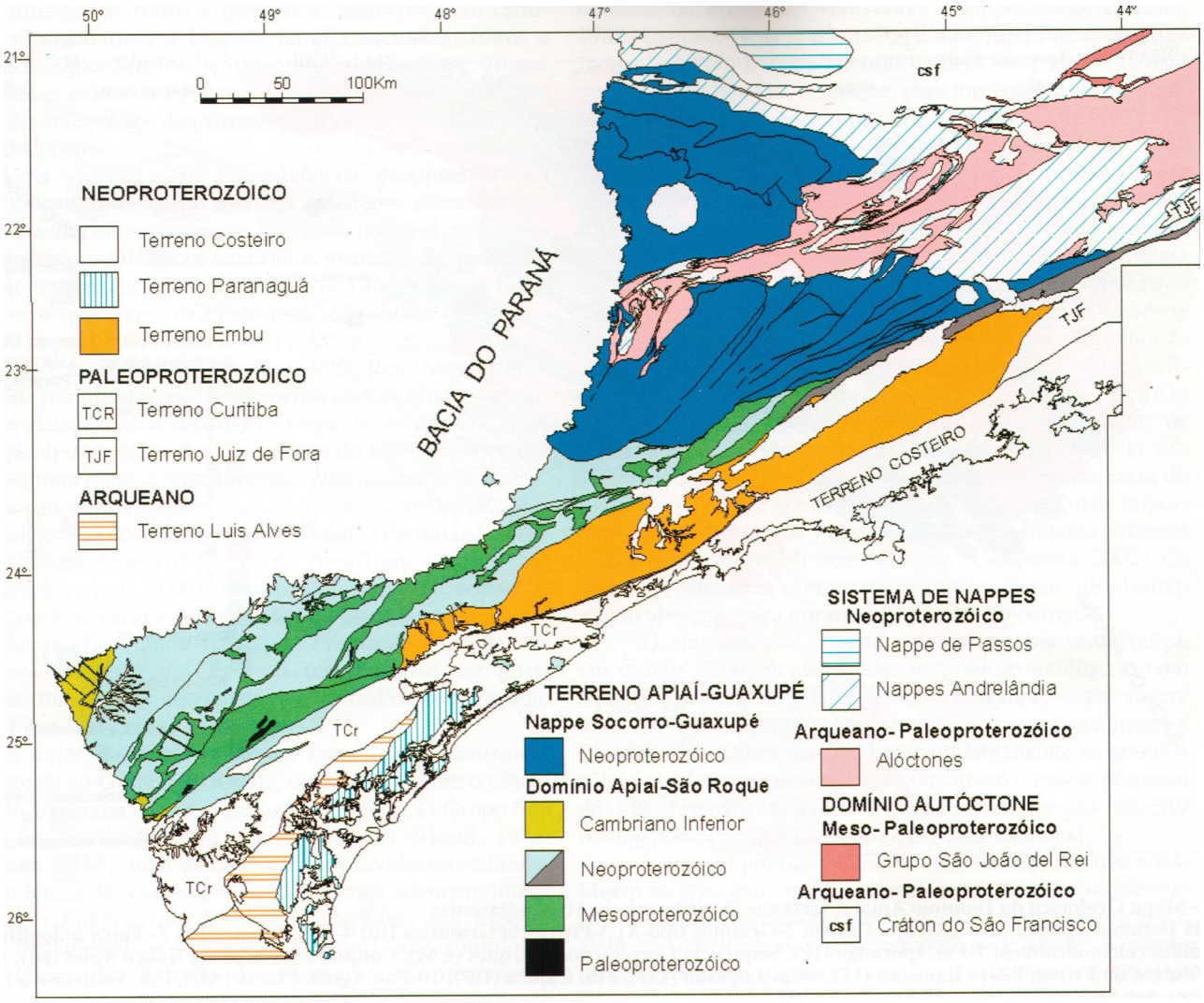


Figura 15 - Mapa tectônico geológico da Província Mantiqueira Central (Heilbron *et al.*,2004).

A Bacia do Paraná constitui uma extensa região sedimentar da América do Sul, abrigando dentro de seus limites uma sucessão sedimentar-magmática com idades entre o Neo-Ordoviciano e o Neocretáceo. Geograficamente, a bacia inclui porções territoriais do Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, em uma área que ultrapassa 1.500.000 km^2. A bacia exibe forma ovalada com eixo maior em posição submeridiana, e é plena representante do conceito de bacia intracratônica (Figura 16).

A Bacia do Paraná ocupa aproximadamente 75% do território paulista. O limite com o Complexo Cristalino ocorre desde o sul do estado, no município de Bom Sucesso de Itararé, seguindo na direção nordeste até o município de Campinas. Deste, segue na direção norte até o extremo norte do estado, no município de Mococa. Devido à inclinação homoclinal das camadas paleozoicas e mesozoicas em direção à região mais deprimida da bacia e a resistência oferecida à erosão pelos derrames basálticos cretáceos que suportam a borda em cuesta do Planalto Ocidental, escavou-se uma longa depressão entre o cristalino e as cuestas basálticas, constituindo uma unidade geomorfológica, chamada de Depressão Periférica Paulista (IPT, 1981).

Como unidade autônoma de subsidência e sedimentação-magmatismo, Milani (2004) definiu seis ciclos de subsidência, correspondentes às supersequências: Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I e Gondwana II, Gondwana III e Bauru. Basicamente, as unidades litoestratigráficas do estado podem ser definidas em quatro eventos de sedimentação: (i) a sedimentação devoniana do Grupo Paraná, conferida, pelo Grupo Paraná, relativo

à Supersequência Paraná; (ii) a sedimentação carbonifera-permiana dos grupos Itararé, Quatá e Passa Dois, relativos à Supersequência Gondwana I, e que constituem a sedimentação anterior ao magmatismo extrusivo cretáceo que precedeu a abertura do Atlântico Sul; (iii) a sedimentação eocretácea sedimentar-magmática do Grupo São Bento, relativo à Supersequência Gondwana III, e que constitui o importante evento magmático extrusivo da Bacia do Paraná (Formação Serra Geral) sobre ambiente paleo-desértico (Formação Botucatu); e (iv) a sedimentação cretácea do Grupo Bauru, relativo à Supersequência Bauru e que constitui o evento de sedimentação posterior ao final do magmatismo (Figura 17).

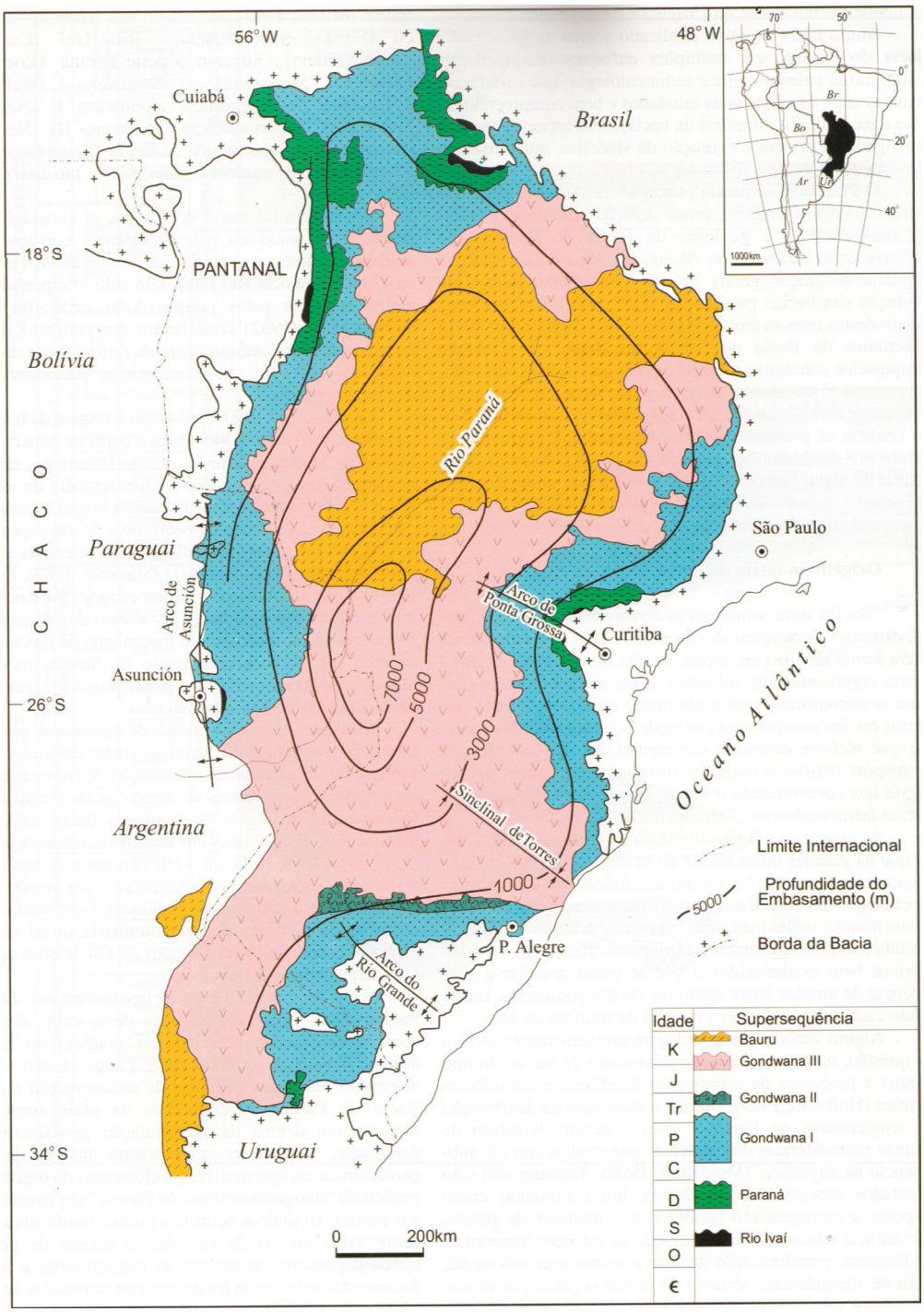


Figura 16 - Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná (MILANI, 2004)

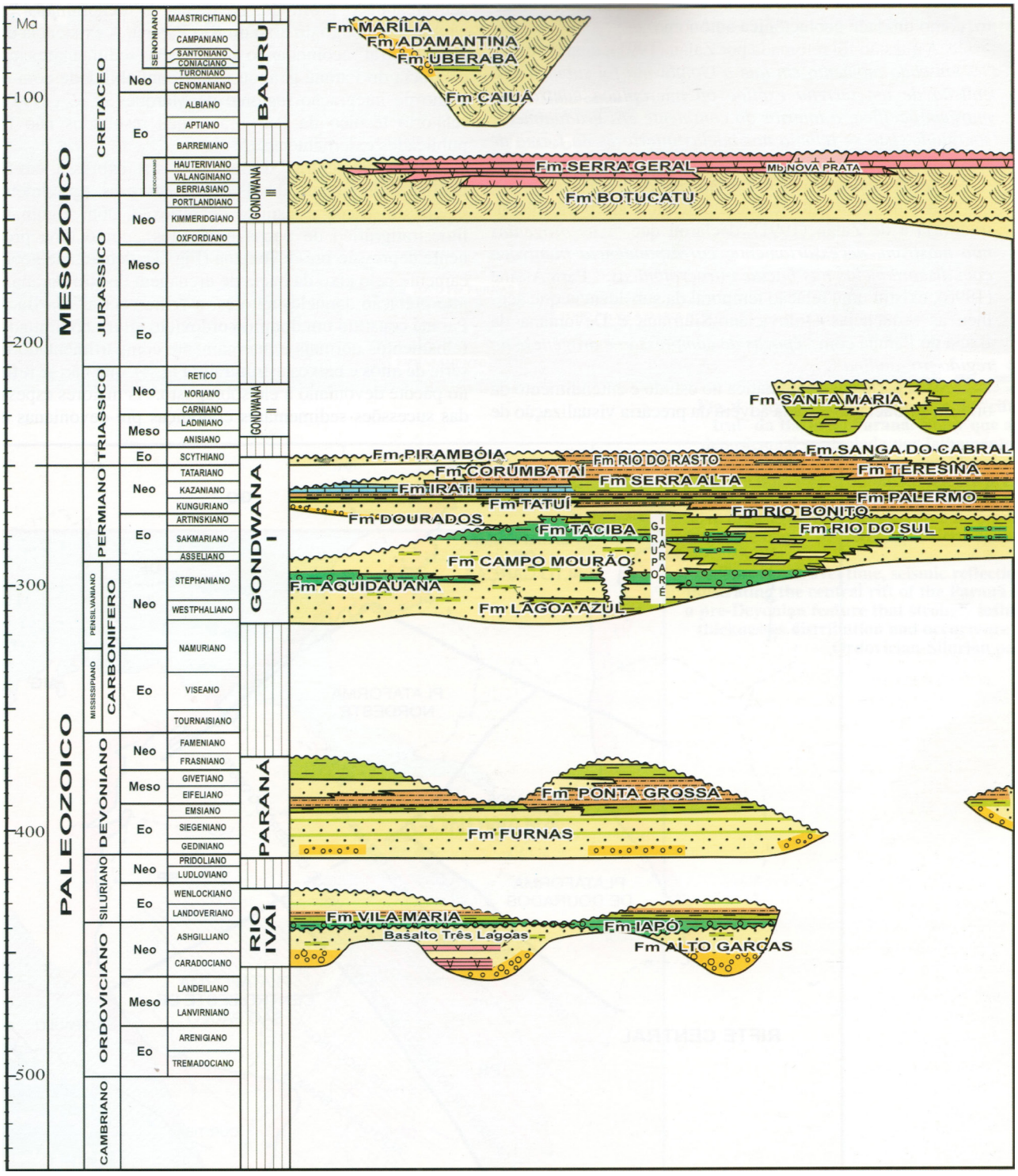


Figura 17 - Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná (MILANI, 2004).

A geologia do estado compreende ainda unidades pós-mezosoicas, representadas pelas manifestações de magmatismo alcalino a partir do Neocretaceo até o Eoceno, as quais ocorrem por todo o estado, principalmente na área do Complexo Cristalino, com destaque para as intrusões de Poços de Caldas, Ilhabela, Passa Quatro, Ipanema, Jaboticabal, Juquiá, Ponte Nova e Jacupiranga, sendo os dois últimos de caráter ultrabásico-alcalino e ultramáfico-alcalino, respectivamente. Recobrindo todas as sequências

geológicas mencionadas, ocorrem as coberturas cenozoicas, representadas pelos sedimentos do Grupo Taubaté, que preenchem as bacias de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda. Na Bacia do Paraná essas coberturas compõem as formações Rio Claro e Itaqueri. Por fim, ocorrem os sedimentos neógenos na forma de depósitos aluvionares, coluvionares e eluvionares.

Os levantamentos geoquímicos regionais multielementares são escassos no estado de São Paulo, porém estudos locais de geoquímica de superfície estão disponíveis na literatura. Na Bacia do Rio Tietê, área com maior densidade demográfica do estado e onde ocorre o principal rio do estado, o foco é a geoquímica ambiental, principalmente no entorno e interior das principais cidades como São Paulo, Guarulhos e Campinas. Nessa área, o trabalho de Mortatti, Hissler e Probst (2010) analisou metais pesados em sedimentos de fundo do Rio Tietê e evidenciou forte contaminação de Zn e Cr a jusante da cidade de São Paulo. Na região do Vale do Ribeira, importante distrito mineral no estado, o foco principal é na prospecção mineral, embora trabalhos voltados ao ambiente destacaram-se na área da geologia médica, devido aos passivos ambientais gerados pela indústria mineral. Na prospecção, destacam-se os estudos de Morgental *et al.* (1978) e Silva *et al.* (1981). Entre os trabalhos de geoquímica ambiental, destacam-se as teses de doutoramento de Paoliello (2002) e Cunha (2003). Outros trabalhos desenvolvidos na região foram o de Lopes Jr. (2005), e Alba *et al.* (2008). Em outras regiões, destaque para o estudo "Levantamentos Geoquímicos das Bacias dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo/SP", conduzido pelo SGB-CPRM na Bacia do Rio Mogi-Pardo (LOPES JUNIOR, 2002) e o estudo geoquímico ambiental na região de Cubatão (CALADO, 2008).

Os recursos minerais do estado são diversificados e abundantes, embora a produção, restrinja-se aos bens minerais atrelados à cadeia da construção civil (brita, areia, calcário e argila). Segundo o Informe Mineral (São Paulo, 2017), o estado de São Paulo é o quarto produtor de bens minerais do Brasil, com base na arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). As principais substâncias exploradas no estado são apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2
Principais bens minerais produzidos no estado de São Paulo (São Paulo, 2017).

SUBSTÂNCIA AGRUPADORA		QUANTIDADE DE TÍTULOS	ARRECADAÇÃO CFEM R$	PARTICIPAÇÃO NO ESTADO	PARTICIPAÇÃO NO BRASIL
1	Água Mineral	161	R$ 11.629.081,00	21%	29%
2	Areia	779	R$ 0.738.558,00	19%	46%
3	Granito	81	R$ 7.208.314,00	13%	20%
4	Calcário	30	R$ 5.273.708,00	9%	11%
5	Basalto	63	R$ 4.474.936,00	8%	27%
6	Apatita	1	R$ 3.759.993,00	7%	27%
7	Argila	276	R$ 2.539.590,00	5%	33%
8	Gnaisse	12	R$ 1.335.606,00	2%	11%
9	Diabásio p/Brita	10	R$ 1.318.182,00	2%	80%
10	Areia de Fundição	9	R$ 1.050.120,00	2%	61%
10 Maiores			**R$ 49.328.089,00**	**88%**	-
Outras			**R$ 6.940.448,00**	**12%**	-
Total			**R$ 56.268.537,00**	**100%**	-

MATERIAIS E MÉTODOS

O levantamento geoquímico executado no Brasil e no estado de São Paulo baseia-se na amostragem e análises químicas de materiais de drenagens (água de superfície e sedimento de corrente) e regolitos (solos).

As estações de coleta de amostras de materiais de drenagens (sedimento de corrente e água de superfície) são planejadas de modo que uma bacia de captação represente uma área entre 100 e 200 km^2. As estações de coleta de amostras de solo são planejadas no centro de uma folha 1:50.000 e representam uma malha regular de 25 x 25 km.

Coleta das amostras de água, sedimentos de corrente e solos

Inicia-se com o trabalho de campo e a visita às estações de amostragem previamente planejadas para a coleta das amostras. Em cada estação visitada são tomadas as medidas das coordenadas geográficas através do GPS (*Global Positioning System*) e preenchidas cadernetas de campo com informações sobre as características do local e da amostra. Também são realizadas medidas de parâmetros físico-químicos das águas (pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura) com o aparelho multimedidor de parâmetros modelo Oakton PDC650 (Figura 18A).

As amostras de água de superfície de drenagem são coletadas com seringas descartáveis, filtradas em unidades filtrantes com porosidade de 0,45 µm e acondicionadas em tubos de polietileno graduados, com capacidade de 50 ml (Figura 18B). São coletadas duas alíquotas, uma para análise de cátions e outra para ânions. Para a preservação dos cátions solúveis nas amostras é adicionado 2 ml de ácido nítrico (HNO_3) 1:1 em uma das alíquotas de 50 ml, mantendo-se, assim, o pH menor que 2. As amostras são refrigeradas e armazenadas a temperaturas entre 2 e 8°C até o momento da análise.

As amostras de sedimento de corrente são coletadas no mesmo ponto de coleta da água de superfície, nas zonas de leito ativo (Figura 18C). Os sedimentos são coletados com canecas de plástico ou com a mão. Posteriormente, são peneiradas a 20 *mesh* (peneiras plásticas convencionais) e acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados.

As amostras de solos são coletadas com trado ou cavadeira, entre 20 e 50 cm de profundidade (Figura 18D). Em seguida, são acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados.

Análises Químicas

As amostras de sedimentos de corrente e solo foram encaminhadas ao laboratório SGS-Geosol. Lá, foram preparadas com secagem em estufa a 50°C e peneiramento a 80 mesh após homogeneização. Depois, foram pulverizadas a 150 mesh e digeridas com água-régia à quente. Posteriormente, foram analisadas por Espectrometria de Emissão Atômica com Fonte de Plasma (ICP-AES) e Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) para 53 elementos (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pd, Pb, Pt, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Tl, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn e Zr).

As amostras de água foram encaminhadas ao laboratório SGS-GEOSOL, para análise dos cátions, e, para o Lamin-CPRM, para análise de ânions. Foram preparadas, diluídas e analisadas por Espectrometria por Emissão Atômica com Fonte de Plasma (ICP-AES) para 29 cátions (Ag, Al, As, Ba, Be, B, Cd, Ca, Co, Cu, Cr, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, V e Zn) e Cromatografia de Íons (IC) para 7 ânions (brometo, cloreto, fluoreto, fosfato, nitrato, nitrito e sulfato).

Tratamento estatístico dos dados analíticos

Os resultados analíticos foram tratados com métodos estatísticos univariados por meio da análise de tabelas dos principais parâmetros estatísticos (medidas de tendência central e dispersão), assim como tabelas de frequências, histogramas e diagramas. O tratamento estatístico foi feito com o software STATISTICA 10.

Os mapas geoquímicos unielementares foram elaborados através da interpolação dos dados pelo método IDW (*Inverse Distance Weighted*) e elaborados com o software ArcGIS 10. Os valores dos intervalos de classes foram definidos de acordo com a porcentagem de dados quantificados (acima do limite de detecção do método analítico) em relação ao total de dados analisados, conforme a Tabela 3.

Com o objetivo de comparar os valores obtidos no levantamento geoquímico com os limites de referência de qualidade ambiental para a proteção da saúde humana e ambiental, adotou-se alguns valores de referências estabelecidos por legislações governamentais nacionais e internacionais.

Para os limites de referência em sedimento de corrente, foram adotados os valores de prevenção nível 1 para sedimentos em água doce da Resolução Conama nº 454, de 01 de novembro de 2012 (BRASIL, 2012), e valores

Figura 18 - Coleta de amostras em campo; (A) parâmetros físico-químicos; (B) água de drenagem; (C) sedimento de corrente; (D) solo.
Fonte: elaborado pelo autor.

TABELA 3

Representação dos intervalos de classe nos mapas geoquímicos em função da quantidade de valores quantificados (acima do limite de detecção do método analítico).

CLASSE	> 75% DE VALORES QUANTIFICADOS	< 75% E > 50% DE VALORES QUANTIFICADOS	< 50% E > 25% DE VALORES QUANTIFICADOS	< 25% DE VALORES QUANTIFICADOS
Classe 1 (Azul)	valor mínimo - percentil 25	limite de detecção (LD)	limite de detecção (LD)	limite de detecção (LD)
Classe 2 (Verde)	percentil 25 - mediana	valor mínimo - mediana		
Classe 3 (Amarelo)	mediana - percentil 75	mediana - percentil 75	valor mínimo - percentil 75	
Classe 4 (Laranja)	percentil 75 - limiar	percentil 75 - percentil 98	percentil 75 - percentil 98	valor mínimo - percentil 98
Classe 5 (Vermelho)	limiar - valor máximo	percentil 98 - valor máximo	percentil 98 - valor máximo	percentil 98 - valor máximo

toleráveis das agências ambientais dos Estados Unidos da América (EUA) (*threshold effect limits in freshwater sediments*) (BUCHMAN, 2008).

Para os parâmetros de referência em solo, foram adotados os valores orientadores de prevenção da Resolução Conama nº 396, de 07 de abril de 2008 (BRASIL, 2008), e da agência ambiental do estado de São Paulo (CETESB, 2014), e valores publicados pelas agências ambientais dos EUA (*Dutch standard target)* (BUCHMAN, 2008) e Canadá (*Concentration for residential land use*) (CCME, 1991, 1999a, 2007, 2015).

Para os parâmetros de referência em água, foram adotados os valores de qualidade de água doce da Resolução Conama nº 357, de 18 de março de 2005 (BRASIL, 2005), e valores publicados pelas agências ambientais dos EUA (*Chronic use surface freshwater)* (BUCHMAN, 2008) e Canadá (*Freshwater concentration long term use*) (CCME, 1987, 1999b, 2002, 2012, 2014, 2015, 2018), além dos valores de referência para consumo humano da Resolução Conama nº 396, de 07 de abril de 2008, da Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), do *Guidelines for drinking-water quality* (WHO, 2008) e da agência ambiental do estado de São Paulo (CETESB, 2014).

As concentrações dos elementos na crosta superior terrestre (WEDEPOHL, 1995, RUDNICK; GAO, 2003) foram também adotadas como valores de referência para solo e sedimentos de corrente.

RESULTADOS

O levantamento geoquímico executado no estado de São Paulo compreendeu na visita de 1845 estações de amostragem, distribuídas ao longo de todo o estado, sendo 1469 estações de sedimento de corrente e água superficial de drenagem e 376 estações de solo (Figura 19).

Foram efetivamente analisadas 376 amostras de solo, 1422 amostras de sedimento de corrente e água de superfície para ânions, 1435 amostras de água para cátions e 1469 amostras de água para parâmetros físico-químicos. Os sumários estatísticos dos resultados analíticos geoquímicos estão apresentados por meio amostral: água de superfície (Tabelas 4), sedimento de corrente (Tabela 5) e solo (Tabela 6). A distribuição espacial de todos os parâmetros analisados é apresentada nos mapas geoquímicos unielementares.

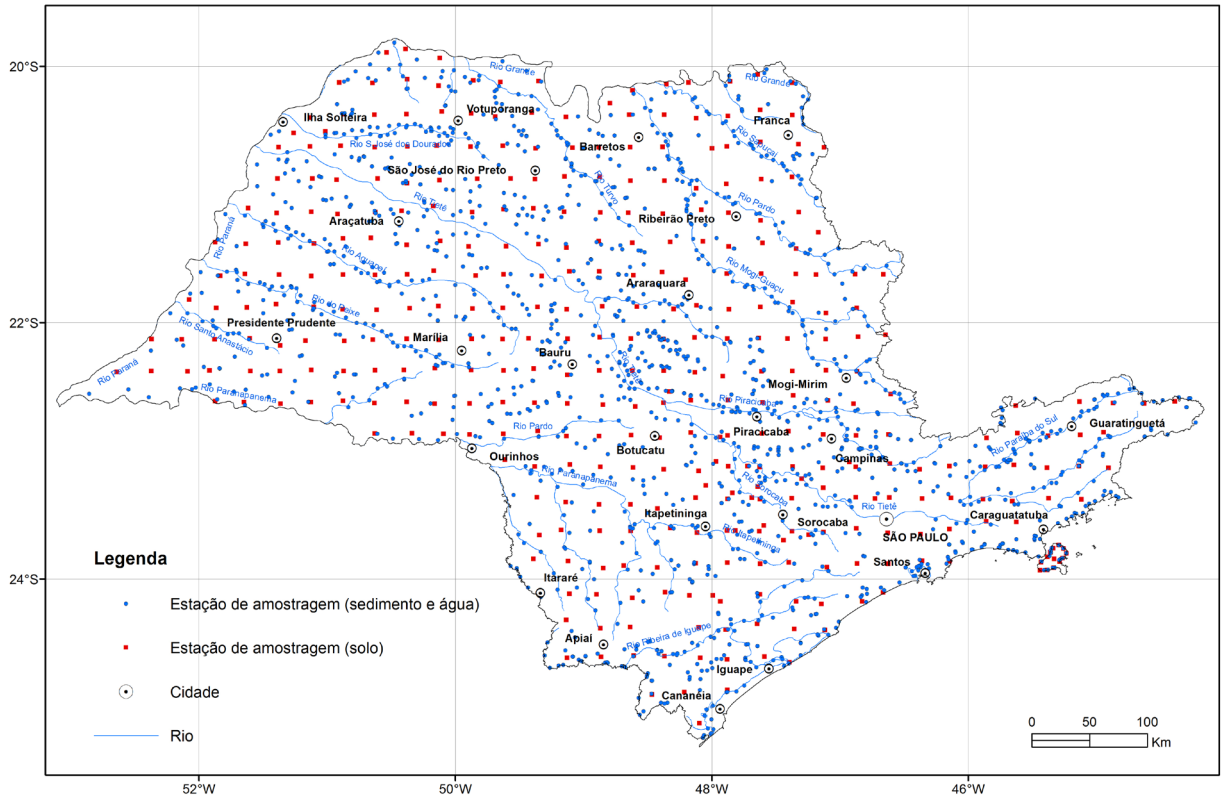


Figura 19 - Estações de amostragem do levantamento geoquímico de baixa densidade no estado de São Paulo. Fonte: elaborado pelo autor.

SUMÁRIOS ESTATÍSTICOS

TABELA 4

Sumário estatístico dos resultados analíticos de água de superfície (parâmetros cátions, ânions e físico-químicos).

ELEMENTO	UNIDADE	LD - LIMITE DE DETECÇÃO	MEDIDAS >LD	MEDIDAS >LD (%)	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MEDIANA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA
Al	mg/L	0,003	1296	90%	<0,003	4,970	0,160	0,230	0,3144	0,0989
As	mg/L	0,002	58	4%	<0,002	0,273	<0,002	-	-	-
B	mg/L	0,007	367	26%	<0,007	8,287	<0,007	-	-	-
Ba	mg/L	0,003	1397	97%	<0,003	0,533	0,046	0,061	0,0512	0,0026
Be	mg/L	0,001	1	0%	<0,001	0,001	<0,001	-	-	-
Ca	mg/L	0,01	1433	100%	<0,01	351,00	7,49	11,67	25,0031	625,1534
Cd	mg/L	0,001	2	0%	<0,001	0,002	<0,001	-	-	-
Co	mg/L	0,003	8	1%	<0,003	0,010	<0,003	-	-	-
Cr	mg/L	0,003	97	7%	<0,003	0,042	<0,003	-	-	-
Cu	mg/L	0,002	233	16%	<0,002	0,539	<0,002	-	-	-
Fe	mg/L	0,002	1349	94%	<0,002	89,000	0,564	0,800	2,4647	6,0747
Hg	mg/L	0,0003	43	3%	<0,0003	0,0124	<0,0003	-	-	-
K	mg/L	0,005	1430	100%	<0,005	3844,000	2,580	46,328	312,2208	97481,8523
Li	mg/L	0,001	367	26%	<0,001	0,629	<0,001	-	-	-
Mg	mg/L	0,01	1431	100%	<0,01	1120,000	2,270	12,012	76,8519	5906,2084
Mn	mg/L	0,002	1251	87%	<0,002	3,380	0,035	0,064	0,1287	0,0166
Mo	mg/L	0,007	39	3%	<0,007	0,940	<0,007	-	-	-
Na	mg/L	0,01	1430	100%	<0,01	10098,00	3,670	76,412	589,7767	347836,5015
Ni	mg/L	0,002	21	1%	<0,002	0,090	<0,002	-	-	-
Pb	mg/L	0,002	87	6%	<0,002	0,057	<0,002	-	-	-
Sb	mg/L	0,002	50	3%	<0,002	0,017	<0,002	-	-	-
Se	mg/L	0,002	90	6%	<0,002	0,695	<0,002	-	-	-
Si	mg/L	0,002	1432	100%	<0,002	75,000	7,450	8,685	6,5582	43,0102
Sn	mg/L	0,01	60	4%	<0,01	0,88	<0,01	-	-	-
Sr	mg/L	0,002	1351	94%	<0,002	15,100	0,050	0,134	0,7034	0,4947
Ti	mg/L	0,001	262	18%	<0,001	4,700	<0,001	-	-	-
V	mg/L	0,001	130	9%	<0,001	0,690	<0,001	-	-	-
Zn	mg/L	0,005	510	36%	<0,005	3,020	<0,005	-	-	-

ELEMENTO	UNIDADE	LD - LIMITE DE DETECÇÃO	MEDIDAS >LD	MEDIDAS >LD (%)	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MEDIANA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA
Br^-	mg/L	0,01	467	33%	<0,01	10,39	<0,01	-	-	-
Cl^-	mg/L	0,01	1421	100%	<0,01	258,72	3,22	7,03	12,31	151,66
F^-	mg/L	0,01	793	56%	<0,01	0,99	0,04	0,07	0,13	0,02
NO_2^-	mg/L	0,01	193	14%	<0,01	0,94	<0,01	-	-	-
NO_3^-	mg/L	0,01	1075	76%	<0,01	446,82	0,44	2,40	13,92	193,72
PO_4^-	mg/L	0,01	428	30%	<0,01	18,50	<0,01	-	-	-
SO_4^-	mg/L	0,01	1109	78%	<0,01	183,68	0,51	1,84	5,99	35,91

TABELA 4 (continuação)

ELEMENTO	UNIDADE	LD - LIMITE DE DETECÇÃO	MEDIDAS >LD	MEDIDAS >LD (%)	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MEDIANA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA
pH	-	0,01	1448	99%	1,66	10,90	6,96	6,92	0,75	0,56
OD	mg/L	0,01	1454	99%	0,00	28,06	7,52	7,57	3,30	10,90
Cond.	µS	0,01	1445	98%	2,17	51190,00	70,25	330,25	2587,76	6696524,40
T	°C	0,01	1452	99%	2,07	33,20	19,90	19,93	4,31	18,55

TABELA 5

Sumário estatístico dos resultados analíticos de sedimento de corrente.

ELEMENTO	UNIDADE	LD - LIMITE DE DETECÇÃO	MEDIDAS >LD	MEDIDAS >LD (%)	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MEDIANA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA
Ag	ppm	0,01	658	46%	< 0,01	7,34	< 0,01	-	-	-
Al	%	0,01	1422	100%	0,03	9,90	0,68	1,05	1,10	1,20
As	ppm	1	635	45%	< 1	85	< 1	-	-	-
Au	ppm	0,1	74	5%	< 0,1	1,2	< 0,1	-	-	-
B	ppm	10	10	1%	< 10	22	< 10	-	-	-
Ba	ppm	5	1421	100%	< 5	1090	54	73	67	4.556,11
Be	ppm	0,1	1141	80%	< 0,1	4,0	0,3	0,5	0,5	0,25
Bi	ppm	0,02	1076	76%	< 0,02	12,65	0,05	-	-	-
Ca	%	0,01	1333	94%	< 0,01	3,43	0,05	0,08	0,14	0,02
Cd	ppm	0,01	877	62%	< 0,01	1,75	0,02	-	-	-
Ce	ppm	0,05	1422	100%	1,38	> 1000	33,91	83,72	146,29	21.399,85
Co	ppm	0,1	1422	100%	0,2	93,1	5,1	7,8	8,5	72,72
Cr	ppm	1	1422	100%	2	541	26	40	47	2.169,45
Cs	ppm	0,05	1416	100%	< 0,05	7,33	0,34	0,76	0,97	0,95
Cu	ppm	0,5	1422	100%	0,6	277,0	9,9	19,3	28,9	835,06
Fe	%	0,01	1422	100%	0,07	15,00	2,15	2,84	2,34	5,46
Ga	ppm	0,1	1422	100%	0,3	85,9	3,8	6,0	6,5	41,96
Ge	ppm	0,1	299	21%	< 0,1	17,5	< 0,1	-	-	-
Hf	ppm	0,05	1344	95%	< 0,05	5,05	0,19	0,33	0,40	0,16
Hg	ppm	0,01	646	45%	< 0,01	1,37	< 0,01	-	-	-
In	ppm	0,02	575	40%	< 0,02	0,95	< 0,02	-	-	-
K	%	0,01	1266	89%	< 0,01	1,08	0,05	0,11	0,14	0,02
La	ppm	0,1	1422	100%	0,6	1413,0	13,7	38,2	81,4	6.633,96
Li	ppm	1	945	66%	< 1	42	2	-	-	-
Mg	%	0,01	1308	92%	< 0,01	0,97	0,05	0,10	0,13	0,02
Mn	ppm	5	1422	100%	16	> 10.000	366	524	577	332.928,54
Mo	ppm	0,05	1316	93%	< 0,05	14,86	0,43	0,62	0,85	0,72
Na	%	0,01	407	29%	<0,01	1,01	< 0,01	-	-	-
Nb	ppm	0,05	1422	100%	0,09	33,89	1,01	1,48	2,34	5,48
Sn	ppm	0,3	1399	98%	< 0,3	35,1	1,2	1,6	1,5	2,37
Sr	ppm	0,5	1417	100%	< 0,5	407,2	6,7	10,4	15,8	248,21

TABELA 5 (continuação)

ELEMENTO	UNIDADE	LD - LIMITE DE DETECÇÃO	MEDIDAS >LD	MEDIDAS >LD (%)	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MEDIANA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA
Ta	ppm	0,05	119	8%	< 0,05	0,33	< 0,05	-	-	-
Te	ppm	0,05	237	17%	< 0,05	5,65	< 0,05	-	-	-
Th	ppm	0,1	1419	100%	< 0,1	537,0	4,7	15,6	35,9	1.287,50
Ti	%	0,01	1413	99%	< 0,01	2,18	0,12	0,21	0,25	0,06
Tl	ppm	0,02	792	56%	< 0,02	1,77	0,03	-	-	-
U	ppm	0,05	1413	99%	< 0,05	59,83	0,57	1,65	3,49	12,20
V	ppm	1	1420	100%	< 1	1547	35	80	136	18.381,30
W	ppm	0,1	593	42%	< 0,1	12,5	< 0,1	-	-	-
Y	ppm	0,05	1422	100%	0,16	185,29	4,94	8,11	11,16	124,55
Zn	ppm	1	1415	100%	< 1	867	20	32	44	1.915,17
Zr	ppm	0,5	1363	96%	< 0,5	219,0	7,2	12,5	15,7	247,41

TABELA 6

Sumário estatístico dos resultados analíticos de solo.

ELEMENTO	UNIDADE	LD - LIMITE DE DETECÇÃO	MEDIDAS >LD	MEDIDAS >LD (%)	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MEDIANA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA
Ag	ppm	0,01	230	61%	< 0,01	1,41	< 0,01	-	-	-
Al	%	0,01	376	100%	0,15	13,40	2,35	3,06	5,70	2,39
As	ppm	1	296	79%	< 1	21	2	3,04	10,78	3,28
Au	ppm	0,1	8	2%	< 0,1	0,4	< 0,1	-	-	-
B	ppm	10	5	1%	< 10	12	< 5	-	-	-
Ba	ppm	5	356	95%	< 5	479	29	47,91	4165,15	64,54
Be	ppm	0,1	287	76%	< 0,1	5,9	0,2	0,45	0,38	0,62
Bi	ppm	0,02	311	83%	< 0,02	12,63	0,14	0,41	1,26	1,12
Ca	%	0,01	300	80%	< 0,01	2,05	0,04	0,07	0,02	0,16
Cd	ppm	0,01	187	50%	< 0,01	0,59	0,01	-	-	-
Ce	ppm	0,05	376	100%	3,52	274,49	51,37	62,47	1984,50	44,55
Co	ppm	0,1	376	100%	0,3	80,4	3,4	6,28	80,89	8,99
Cr	ppm	1	375	100%	< 1	254	40	49,28	1498,36	38,71
Cs	ppm	0,05	376	100%	0,07	8,33	0,84	1,24	1,54	1,24
Cu	ppm	0,5	376	100%	1,0	315,3	11,8	27,04	1630,80	40,38
Fe	%	0,01	376	100%	0,90	16,50	3,36	4,59	12,70	3,56
Ga	ppm	0,1	376	100%	1,1	51,3	10,2	13,39	100,66	10,03
Ge	ppm	0,1	61	16%	< 0,1	0,3	0,1	-	-	-
Hf	ppm	0,05	360	96%	< 0,05	4,12	0,29	0,46	0,26	0,51
Hg	ppm	0,01	234	62%	< 0,01	0,37	0,02	-	-	-
In	ppm	0,02	308	82%	< 0,02	0,22	0,04	0,05	0,00	0,04
K	%	0,01	341	91%	< 0,01	0,93	0,03	0,07	0,01	0,11
La	ppm	0,1	376	100%	1,2	325,0	13,9	18,39	463,71	21,53
Li	ppm	1	325	86%	< 1	39	2	4,44	28,26	5,32
Mg	%	0,01	339	90%	< 0,01	1,70	0,04	0,07	0,02	0,15
Mn	ppm	5	376	100%	28	5192	258	381,31	232039,73	481,71

TABELA 6 (continuação)

ELEMENTO	UNIDADE	LD - LIMITE DE DETECÇÃO	MEDIDAS >LD	MEDIDAS >LD (%)	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MEDIANA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA
Mo	ppm	0,05	364	97%	< 0,05	4,75	0,63	0,84	0,52	0,72
Na	%	0,01	16	4%	< 0,01	0,07	< 0,01	-	-	-
Nb	ppm	0,05	376	100%	0,07	21,42	1,24	1,58	2,27	1,51
Ni	ppm	0,5	376	100%	1,3	66,5	7,2	9,8	68,8	8,30
P	ppm	50	366	97%	< 50	3339	202	291	100897	317,64
Pb	ppm	0,2	376	100%	2,8	67,9	10,2	12,5	73,0	8,54
Pd	ppm	0,1	6	2%	< 0,1	0,2	< 0,1	-	-	-
Pt	ppm	0,1	0	0%	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	-
Rb	ppm	0,2	376	100%	0,3	131,1	3,7	9,6	287,1	16,94
Re	ppm	0,1	0	0%	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	-
S	%	0,01	225	60%	< 0,01	0,13	0,010	-	-	-
Sb	ppm	0,05	369	98%	< 0,05	1,92	0,19	0,26	0,06	0,25
Sc	ppm	0,1	376	100%	0,2	57,5	7,5	11,1	107,4	10,36
Se	ppm	1	29	8%	< 1	3	< 1	-	-	-
Sn	ppm	0,3	376	100%	0,6	19,3	1,8	2,2	2,8	1,67
Sr	ppm	0,5	374	99%	< 0,5	139,7	5,3	8,5	179,5	13,40
Ta	ppm	0,05	37	10%	< 0,05	0,34	< 0,05	-	-	-
Te	ppm	0,05	133	35%	< 0,05	4,08	< 0,05	-	-	-
Th	ppm	0,1	376	100%	1,0	54,5	7,1	8,7	39,3	6,27
Ti	%	0,01	359	95%	< 0,01	1,10	0,09	0,14	0,03	0,16
Tl	ppm	0,02	262	70%	< 0,02	0,82	0,05	-	-	-
U	ppm	0,05	376	100%	0,080	6,87	0,82	1,06	0,80	0,89
V	ppm	1	376	100%	5	819	74	128	21529	146,73
W	ppm	0,1	167	44%	< 0,1	4,0	< 0,1	-	-	-
Y	ppm	0,05	376	100%	0,48	51,33	4,96	7,80	62,96	7,93
Zn	ppm	1	375	100%	< 1	346	12	23	810	28,45
Zr	ppm	0,5	367	98%	< 0,5	237,0	13,7	22,3	713,8	26,72

ELEMENTOS ANALISADOS

ELEMENTOS ANALISADOS

Ag - Prata

A prata (do latim – *argentum*) é um metal relativamente raro, de coloração esbranquiçada, altamente dúctil, maleável e com alta resistência à corrosão. Quando puro, é o mais notável condutor de eletricidade e calor entre todos os metais. A Ag não mostra afinidade com magmas ácidos, e a substituição do íon Na^+ pelo íon Ag^+ pode promover o enriquecimento do metal em rochas alcalinas. Pode ocorrer como elemento livre na natureza, mas devido a sua afinidade com os elementos calcófilos, ocorre comumente associada a minérios sulfetados de chumbo, cobalto, níquel, estrôncio e arsênio. Durante o intemperismo, a prata é facilmente liberada, precipitando-se em meios alcalinos e redutores (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). A principal fonte de Ag é quando ocorre em estado nativo, ou como argentita (Ag_2S), boleíta [$KPb_{26}Cu_{24}Ag_9Cl_{62}(OH)_{48}.H_2O$], proustita ($Ag_3S_3$), cerargirita (AgCl), silvanita [$(AgAu)Te_2$], freiberguita [$(Ag,Cu,Fe)_{12}(Sb,As)_4S_{13}$] e polibasita $Cu(Ag,Cu)_6Ag_9Sb_2S_{11}$, ou, ainda, associada a minerais sulfetados, tais como: galena (PbS), arsenopirita (FeAsS), tennantita ($Cu_{12}As_4S_{13}$) e tetraedrita ($Cu_{12}Sb_4S_{13}$). Apenas 1/3 das reservas mundiais de prata estão relacionadas a depósitos, em que ocorre como produto principal. Os 2/3 de recursos de prata são associados como subproduto de minérios de ouro, cobre, chumbo e zinco. (DNPM, 2015). As principais utilidades são lentes de óculos monocromáticas, películas sensíveis para radiografia e fotografia, jóias, utensílios domésticos, ferramentas cirúrgicas e de dentistas, fabricação de espelhos, baterias de alta capacidade e produção de chuva artificial em nuvens. A Ag é muito tóxica e a ingestão de seus sais, mesmo em pequenas quantidades, podem causar a morte (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Em relação à mobilidade ambiental, a Ag é aparentemente imóvel em solos com pH>4. Em ambientes oxidantes com pH<4, a mobilidade é moderadamente alta, enquanto que em ambiente redutor ela é imóvel. Os depósitos estão relacionados às fontes hidrotermais e aos calcários e dolomitos intrudidos por diques félsicos e, ainda, em veios relacionados a intrusões porfiríticas. As reservas brasileiras de minério lavráveis contendo prata somam 3.910 t de metal contido, alcançando patamar mundial de 0,7%, distribuídas, principalmente, entre os estados do Pará, que representa a quase totalidade dessas reservas, Goiás, Minas Gerais e Bahia. As principais empresas produtoras mundiais estão na Polônia, na Austrália e no México (DNPM, 2015).

No levantamento geoquímico, o elemento Ag não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 46% das amostras, com concentrações variando entre <0,01 e 7,34 ppm, média igual a 0,04 ppm, mediana igual a <0,01 ppm e *background* entre <0,01 e 0,03 ppm. No solo, foi detectado em 61% das amostras, com concentrações variando entre <0,01 e 1,41 ppm, média igual a 0,03 ppm, mediana igual a 0,02 ppm e *background* entre <0,01 e 0,04 ppm.

Al - Alumínio

O alumínio é um metal de coloração prateada, litófilo, leve, maleável, dúctil, com baixo ponto de fusão, bom condutor de eletricidade e resistente à corrosão, sendo o metal que existe em maior quantidade na crosta terrestre, embora seja o terceiro elemento mais abundante, depois do oxigênio e silício. O Al não é encontrado livre na natureza, mas nos minerais silicatados combinado com ferro, metais alcalinos e alcalino-terrosos. Nos minerais máficos, pode ser substituído por ferro, titânio e cromo. O Al dissolvido se enriquece nas argilas neoformadas e, desta forma, sua concentração é alta nos sedimentos argilosos e rochas pelíticas, e nas derivadas de argilominerais, como os filitos e micaxistos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005; KOLJONEN,1992). A bauxita (24% a 35% de Al) é uma mistura de óxidos, alumina (Al_2O_3), hidróxidos, gibbsita [$Al(OH)_3$], sílica, óxidos/hidróxidos de Fe, silicatos de Al e outras impurezas. É usado, principalmente, como ligas para construção civil, engenharia aeronáutica (aviação e foguetes), indústria naval, condutores elétricos, utensílios domésticos, automóveis, tintas, fabricação de vidros e refratários. Não é um nutriente essencial e, se assimilado em excesso e na forma iônica, é prejudicial e tóxico, sendo também associado à demência senil (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Embora o Al seja ingerido através da água e alimentos, a maior parte é eliminada (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Quando os silicatos sofrem intemperismo, o alumínio dissolvido precipita formando argilominerais, tal como a caulinita [$Al_2Si_2O_5(OH)_4$], ou sob a forma de óxidos/hidróxidos, como a gibbsita. Tanto em ambiente oxidante quanto em redutor, o Al comporta-se como imóvel e, assim, o seu halo de dispersão é muito reduzido, tanto nos solos como nos sedimentos de corrente (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Os depósitos são lateríticos

residuais e/ou supergênicos oxidados (derivados de rochas aluminossilicatadas e de rochas carbonatadas "*karst type bauxite*") (BIONDI, 2003). As principais reservas de bauxita estão localizadas na Guiné, na Austrália, no Vietnã e na Jamaica, sendo que em 2013, o maior produtor foi a Austrália, seguida pela China. O Brasil aparece em terceiro lugar, onde o estado do Pará lidera, com os depósitos de Porto Trombetas, Paragominas e Juruti (DNPM, 2015).

No levantamento geoquímico, o elemento Al foi detectado em 90% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,003 e 4,97 mg/L, média igual a 0,23 mg/L, mediana igual a 0,16 mg/L e *background* entre 0,07 e 0,28 mg/L. No sedimento foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,03 e 9,90%, média igual a 1,05%, mediana igual a 0,68% e *background* entre 0,27 e 1,47%. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,15 e 13,4%, média de 3,06%, mediana de 2,35% e *background* entre 1,30 e 4,14%.

As - Arsênio

O arsênio é um não metal, de coloração variando de cinza-metálico a amarela. Os íons arsenatos são facilmente fixados em argilominerais, húmus (matéria orgânica) e cálcio, e com a retenção mais ativa do As relacionada aos hidróxidos de Fe e Al, limitando a migração do As. É incorporado em minerais primários pela substituição do Fe^{+3} ou Al^{+3} pelo As^{+3} em minerais silicatados (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). O As em prospecção geoquímica é utilizado como elemento farejador de Au e outros metais sulfetados (KOLJONEN, 1992). O As ocorre como arsenopirita (FeAsS), loellingita ($FeAs_2$), ouro-pigmento (As_2S_3), realgar (As_4S_4), arsenolita (As_2O_3) e enargita (Cu_3AsS_4), sendo poucas vezes encontrado em estado nativo. Sua principal utilização é em vidros clarificados, em biocidas diversos, como reforço de ligas metálicas, constituinte de fogos de artifício e na conservação da madeira. Apesar de ser um importante micronutriente para alguns seres vivos, pois sua falta ocasiona inibição do crescimento, é, de forma geral, um elemento altamente tóxico, possivelmente carcinogênico, e, em doses maiores do que 50 µg/L em água para consumo humano, torna-se perigoso à saúde. Inalações e ingestões em altas quantidades podem ocasionar a morte (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Em ambiente oxidante com pH<4, é imóvel; com pH 5-8 possui mobilidade moderadamente alta e em ambiente redutor é imóvel. Os depósitos estão relacionados a intrusões porfiríticas com associação Cu-As-Sb em rochas vulcânicas próximas a Cu-pórfiro e associado aos depósitos de Au do tipo *greenstone belts* ricos em arsenopirita (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). O As, recuperado a partir do realgar e ouro pigmento, é encontrado na China, no Peru e nas Filipinas, e, a partir de minérios de Cu-Au, no Chile; associado com ocorrências de Au no Canadá (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2011). No Brasil, o As está associado aos depósitos de Au do tipo *greenstone belts* (Rio Itapicuru-BA, Crixás-GO) e Paracatu-MG (FIGUEIREDO; BORBA; ANGÉLICA, 2006).

No levantamento geoquímico, o elemento As foi detectado em 4% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,002 e 0,273 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,002 ppm. No sedimento de fundo, foi detectado em 45% das amostras, com concentrações variando entre <1 e 85 ppm, média igual a 1,7 ppm, mediana igual a <1 ppm e *background* entre <1 e 2 ppm. Nos solos, foi detectado em 79% das amostras, com concentrações variando entre <1 e 21 ppm, média igual a 3 ppm, mediana igual a 2 ppm e *background* entre 1 e 4 ppm.

Au - Ouro

O ouro é um metal de transição, de cor amarela, denso e brilhante, é o mais maleável e mais dúctil de todos os metais. Pela sua bela cor amarela, por ser inalterado e pela sua raridade, o credenciaram como metal nobre por excelência, com isso o mesmo tem seu preço cotado diariamente. É estável em ambientes supergênicos e, em algumas condições de intemperismo, forma compostos altamente móveis (íons complexos) (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992, *apud* MINERAIS DO PARANÁ, 2005), mas comumente parece ser transportado como organometálicos ou quelatos (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992, *apud* MINERAIS DO PARANÁ, 2005). A depender da origem e do estágio do intemperismo do solo, o Au pode estar associado a partículas finas ou a seixos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Ocorre como ouro nativo, teluretos (krennerita, calaverita e silvanita) e pirita. É usado, principalmente, na confecção de joias, circuitos eletrônicos, padrão de conversão de moedas, no tratamento de câncer, revestimento de satélites espaciais (bom refletor de radiação infravermelha) e processos fotográficos (ácido cloroáurico).

Não apresenta função biológica conhecida e não é bem absorvido pelo corpo humano, mas seus compostos não são tóxicos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Tanto em ambiente oxidante quanto em redutor, o Au comporta-se como imóvel (ANDREWS-JONES, 1968 e ROSE; HAWKES; WEBB, 1979, *apud* LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Os depósitos são de Cu-Au do tipo pórfiro; veios de Au, Ag e Te associados a intrusões porfiríticas; Au e Ag (i) em fontes quentes e (ii) em calcários e dolomitos intrudidos por diques félsicos (ambos relacionados com vulcânicas félsicas a máficas subaéreas); Au-U em conglomerado do "tipo *Witwatersrand*"; Au do tipo *Homestake* e Au e U em discordâncias; Au em falhas de baixo mergulho; e associado a processos superficiais: Au e/ou EGP em placers modernos e Au laterítico. As principais jazidas estão localizadas na África do Sul, na China, na Rússia, nos EUA, na Austrália, no Brasil, na Indonésia, no Peru, no Chile, no Canadá, no México, no Uzbequistão e na Papua Nova Guiné (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2011). No Brasil, temos os depósitos de MG (48%), GO (17%), BA (11%), MT (8%) e PA (7%).

No levantamento geoquímico, o elemento Au não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 5% das amostras, com concentrações variando entre <0,1 e 1,2 ppm, média igual a 0,06 ppm, e mediana e *background* igual a <0,1 ppm. No solo, foi detectado em 2% das amostras, com concentrações variando entre <0,1 a 0,4 ppm, e média, mediana e *background* igual a <0,1 ppm.

B - Boro

O boro é considerado um não metal, sendo um péssimo condutor de eletricidade. É um elemento químico muito leve, relativamente raro na crosta terrestre. A maior quantidade de boro está concentrada em evaporitos e em sedimentos argilosos, ambos marinhos. No ambiente terrestre, o boro ocorre associado com oxigênio, formando inúmeros minerais, principalmente hidróxidos e silicatos (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). No solo, está presente na forma de boratos, e em sistemas de água, como oceanos e rios, sua concentração é variável, sendo da ordem de 4,5 µg/L nos oceanos. A média crustal do boro é 13 ppm (ROSE; HAWKES; WEBB, 1979) e 10 ppm (LEVINSON, 1974). Em solos, a média mundial é 10 ppm, segundo Rose, Hawkes e Webb (1979), e varia de 2 a 100 ppm, de acordo com Levinson (1974). Por ser muito reativo, o boro não é encontrado livre, mas em minérios como: turmalina, ulexita e kernita ou o bórax, que são as principais fontes mundiais desse elemento. O B amorfo é utilizado principalmente em pirotecnia (cor verde), no controle de reações nucleares, como proteção à radiação nuclear e em instrumentos usados na detecção de nêutrons. Filamentos de boro são utilizados em pesquisas de fibras óticas e em estruturas aeroespaciais avançadas (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O bórax é amplamente utilizado em inseticidas, na fabricação de esmaltes e porcelanas, na produção de vidros ópticos, em sabões e detergentes, como fertilizante, além de ser matéria-prima principal na fabricação de recipientes de vidro. As fontes antropogênicas incluem a queima de carvão e o despejo em depósitos de lixo. Em vias aquáticas, o elemento pode ser encontrado em efluentes, principalmente em áreas em que seus compostos são utilizados em detergentes. É um nutriente essencial às plantas. Todavia, concentrações elevadas podem provocar sintomas semelhantes àqueles causados pela deficiência de boro nos solos, como a necrose em pontas e margens das folhas, assim como um crescimento menor do que o esperado. A inalação de níveis moderados de boro pode causar irritação nas mucosas das narinas, da garganta e dos olhos, e a ingestão de altas doses, mesmo em curto espaço de tempo, pode danificar o estômago, os intestinos, o fígado, os rins e o cérebro (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 1995). Apresenta alta mobilidade em condições ambientais com pH < 4 e entre 5 e 8 (ROSE; HAWKES; WEBB, 1979). A maioria dos depósitos de boro é encontrada em rochas marinhas e sedimentares ou perto de vulcões. O bórax é encontrado no deserto de Mojave na Califórnia, Estados Unidos, onde está localizada a maior mina a céu aberto do mundo. Entretanto, a Turquia possui 63% das reservas mundiais. A Itália, a Bolívia, o Chile, a Argentina e o Peru são outros países que possuem extensos depósitos de boro na forma de bórax.

No levantamento geoquímico, o elemento B foi detectado em 26% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,007 e 8,287 mg/L, média e mediana igual a <0,007 e *background* entre <0,007 e 0,009 ppm. No sedimento de fundo, foi detectado em 1% das amostras, com concentrações variando entre <10 e 22 ppm, e média, mediana e

background igual a <10 ppm. No solo, foi detectado em 1% das amostras, com concentrações variando entre <10 e 12 ppm, e média, mediana e *background* igual a <10 ppm.

Ba - Bário

O bário é um metal alcalino-terroso de coloração branco-prateada, de altíssima densidade e alto ponto de fusão. Não é encontrado livre na natureza, mas quando puro é altamente oxidável e em contato com o ar apresenta aspecto fluorescente. Durante a diferenciação magmática concentra-se nos silicatos de potássio (feldspatos e micas) com o Ba^{+2} substituindo o K^{+1}. Soluções hidrotermais tardias contêm o íon sulfato que se liga ao Ba^{+2} e precipita como sulfato de bário, podendo gerar ocorrências filonianas (WEDEPOHL, 1978; KOLJONEN, 1992). No intemperismo, o bário liberado não é muito móvel por se precipitar facilmente como sulfatos e carbonatos (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). A razão Ba/Sr é usada em prospecção litogeoquímica e de solos para definir zonas mineralizadas tipo Cu-Mo (LOPES JUNIOR, 2007). Seus principais minerais são barita ou barita ($BaSO_4$) e witherita ($BaCO_3$). Elemento básico para a fabricação de fluidos de perfuração de poços de petróleo, fabricação de vidros, pigmentos, na indústria de freios, na produção de água oxigenada, velas de ignição de automóveis, recobrimento de salas de raios X, fabricação de borracha e papel. Não apresenta função biológica conhecida e os compostos insolúveis não são perigosos à saúde, mas na forma iônica é altamente tóxico (KOLJONEN, 1992; MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É ligeiramente móvel em condições oxidantes e tem baixa mobilidade em condições redutoras (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). A barita é encontrada em depósitos relacionados às rochas sedimentares clásticas marinhas (depósito de Pb/Ba) (LICHT; MELLO; SILVA, 2007; BIONDI, 2007). As principais jazidas estão localizadas na Índia, na China, nos EUA, na Rússia, na Argélia e no Marrocos (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2011). As principais reservas de barita no Brasil encontram-se na Bahia (Aramari e Camamu), Minas Gerais e São Paulo, tendo ainda ocorrências no Paraná e Paraíba (DNPM, 2007).

No levantamento geoquímico, o elemento Ba foi detectado em 97% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,003 e 0,533 mg/L, média igual à 0,061 mg/L, mediana igual a 0,046 mg/L e *background* entre 0,022 e 0,092 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre <5 e 1.090 ppm, média igual à 73 ppm, mediana igual a 54 ppm e *background* entre 28 e 97 ppm. No solo, foi detectado em 95% das amostras, com concentrações variando entre <5 e 479 ppm, média igual a 48 ppm, mediana igual a 29 ppm e *background* entre 14 e 52 ppm.

Be - Berílio

O berílio é um metal alcalino-terroso, de coloração cinza-prateado, macio, pouco reativo, de alta condutividade térmica e elétrica, alto ponto de fusão e boa elasticidade. É incompatível com os primeiros estágios da diferenciação magmática devido ao seu pequeno raio iônico e à instabilidade para formar complexos a altas temperaturas. Como consequência, o mesmo tende a concentrar-se em rochas mais evoluídas, nas fases finais de cristalização (granitos e pegmatitos) (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Seu comportamento difere em vários ambientes devido ao tamanho do seu átomo, à alta ionização e à eletronegatividade. Durante o intemperismo, permanece nos resíduos minerais mais resistentes. Em solo, acumula-se nos horizontes mais ricos em substâncias orgânicas (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Quanto à sua natureza geoquímica, assemelha-se ao alumínio. Seus principais minerais são berilo [$Be_3Al_2(SiO_3)_6$], bertrandita [$4BeO.2SiO_2.H_2O$], crisoberilo ($BeAl_2O_4$) e fenacita (Be_2SiO_4). As variedades transparentes do berilo, esmeralda (verde) e azul (água-marinha) são muito apreciadas como gemas. Há outras variedades transparentes comercializadas como gemas, porém de ocorrência incomum. O berílio forma liga com o Cu (bronze de berílio) de alta dureza e resistência. É usado na fabricação de molas, escovas e anéis coletores de motores de alta rotação e trens de aterrissagem de avião. É aplicado como moderador ou refletor de reatores nucleares (baixa absorção de nêutrons) e em tubos de aparelhos de raios X, por ter alta transparência a esses raios. O pó desse metal pode ser danoso aos pulmões se inspirado por longo tempo de exposição e seus sais são muito tóxicos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Em condições oxidantes, o Be é reprecipitado com óxidos hidratados de Fe e Al ou adsorvido na superfície de argilominerais. Em ambientes alcalinos, forma ânions complexos como $Be(OH)CO_3$ e $Be(CO_3)_2$ (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Ocorre associado aos depósitos epitermais e relacionados aos corpos pegmatíticos. As reservas mundiais de berílio não estão suficientemente bem delineadas, o que dificulta relatar dados consistentes para todos

os países. As principais jazidas estão localizadas nos EUA, na China e em Moçambique (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). No Brasil, as reservas de berílio são pouco representativas, sendo associadas aos pegmatitos e restritas aos estados de MG, GO, BA e CE (DNPM, 2010). No RN e PB são encontrados cristais hexagonais de berilo em alguns pegmatitos. No RN são comercializadas águas-marinhas e esmeraldas.

No levantamento geoquímico, o elemento Be foi detectado em uma amostra de água de drenagem, com concentração igual a 0,001 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,001 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 80% das amostras, com concentrações variando entre <0,1 e 4,0 ppm, média igual a 0,5 ppm, mediana igual a 0,3 ppm e *background* entre 0,1 e 0,7 ppm. No solo, foi detectado em 76% das amostras, com concentrações variando entre <0,1 e 5,9 ppm, média igual a 0,4 ppm, mediana igual a 0,2 ppm e *background* entre 0,1 e 0,6 ppm.

Bi - Bismuto

O bismuto é um metal de coloração prata-esbranquiçada, quebradiço e pouco abundante na crosta terrestre. Apresenta baixa condutibilidade elétrica e térmica, sendo o mais diamagnético de todos os metais, além de isótopos levemente radioativos. Durante o intemperismo, é facilmente oxidado e, quando se liga a carbonatos, torna-se estável e, com isso, o seu conteúdo em solos é diretamente herdado da rocha-fonte (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). É encontrado livre na natureza, mas sua forma mais comum é a bismutinita (Bi_2S_3), bismita (Bi_2O_3) e bismutita [$(BiO)_2CO_3$] e também obtido como subproduto associado aos minérios de Ag, Zn, Pb, Au, Cu e Sn. Na maior parte, é empregado em produtos médicos e farmacêuticos e na indústria de cosméticos, mas também em ligas metálicas utilizadas em imãs permanentes em trens que funcionam por levitação, em soldas, na indústria de impressão e em catalisadores. Não possui função biológica conhecida; é um dos elementos pesados menos tóxicos na natureza, mas seus sais podem causar danos moderados ao fígado. O Bi é imóvel, seja em condições oxidantes com pH 5-8 ou redutoras (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). É extraído como subproduto relacionado aos depósitos de Au, Cu-Au, Cu-Mo e Sn associados a *skarns* (calcissilicáticas) e pegmatitos. As principais jazidas estão localizadas na Bolívia, nos EUA, no Peru, no México, na China, no Canadá e no Cazaquistão (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). No Brasil, há pequenas ocorrências em Minas Gerais e no Rio Grande do Norte (em alguns pegmatitos e nas minas de scheelita de Brejuí, Barra Verde e Bonfim – atualmente produzindo ouro).

No levantamento geoquímico, o elemento Bi não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 76% das amostras, com concentrações variando entre <0,02 e 12,65 ppm, média igual a 0,21 ppm, mediana igual a 0,05 ppm e *background* entre 0,02 e 0,15 ppm. No solo, foi detectado em 83% das amostras, com concentração variando entre <0,02 e 12,63 ppm, média igual a 0,41 ppm, mediana igual a 0,14 ppm e *background* entre 0,05 e 0,33 ppm.

Br - Bromo

O bromo é um elemento não metálico, do grupo dos halogênios, que ocorre naturalmente no estado líquido, é volátil, denso e instável. É um elemento litófilo e seu raio iônico é semelhante ao do cloro e, sendo assim, o Br pode substituí-lo na estrutura dos minerais. Nunca é encontrado livre na natureza, sempre sob a forma de sais. É presente na água do mar com uma concentração aproximada de 65 mg/L, a qual representa aproximadamente 0,2% de todos os sais dissolvidos, e é a partir dela que o bromo é extraído comercialmente. Segundo Levinson (1974), a concentração média crustal de bromo é 2,5 ppm e 20 mg/L em água fluvial. As maiores fontes naturais de Br estão nos evaporitos, nas fontes termais e na água do mar. A maior aplicação do Br é a produção de brometo de etileno, utilizado em combustíveis para motores, com o intuito de evitar a acumulação de chumbo no interior dos cilindros. Embora em menores quantidades, o elemento é utilizado como corante, ou ainda como agente branqueador e sanitário na purificação de águas. O brometo de césio é usado na fabricação de prismas ópticos extremamente transparentes à radiação infravermelha. De um modo geral, todos os brometos de terras-raras alcalinas encontram aplicação na indústria farmacêutica, devido à sua ação sedativa, e na indústria fotográfica, na preparação de emulsões de brometo de prata. O metilbrometo usa-se no extermínio de insetos e pequenos roedores, ao passo que o bromoclorometano é utilizado em fluidos de extintores. O Br não tem função biológica essencial em mamíferos, mas participa do metabolismo de algas marinhas. O metilbrometo, composto orgânico, pode causar danos à

saúde humana, interferindo em certos órgãos, como o fígado, rins, pulmões, podendo causar disfunções no sistema nervoso, na glândula tireoide, e ainda, disfunções estomacais e gastrointestinais. O íon brometo (Br^-) tem elevada mobilidade em condições oxidantes ou redutoras (LEVINSON, 1974). As águas do Mar Morto (entre Israel e a Jordânia) e alguns depósitos de sal oriundos da evaporação de antigos mares podem conter de 2 a 10 g/kg de íon Br^- (OLIVEIRA; AFONSO, 2013). A produção mundial de Br é de cerca de 500.000 t/ano. Os EUA são o maior produtor (~45%), seguido de Israel (~35%), China, Japão e Jordânia. O Brasil não produz bromo, tendo que o importar para suprir suas necessidades internas (OLIVEIRA; AFONSO, 2013).

No levantamento geoquímico, o brometo foi detectado em 33% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,01 e 10,39 mg/L, média e mediana igual a < 0,01 mg/L e *background* entre <0,01 e 0,02 mg/L. Nos sedimentos de fundo e solo, o elemento não foi analisado.

Ca - Cálcio

O cálcio é um metal alcalino-terroso, calcófilo, branco-prateado, de baixa dureza, altamente reativo quando em contato com o ar e a água, não sendo encontrado na forma elementar. É o quinto metal mais abundante na crosta terrestre. Na rede cristalina, é parcialmente substituído por Na, Mn, Sr, Y e elementos de terras-raras, (ETR). Durante o processo de cristalização, o cálcio é fixado nos primeiros estágios, sendo enriquecido nas rochas máficas (KOLJONEN, 1992). Na natureza, é encontrado como parte integrante dos minerais constituintes das rochas, formando um grande número de silicatos, carbonatos e fosfatos, sendo os plagioclásios os principais hospedeiros do Ca (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O Ca dissolvido é cristalizado nos sedimentos ou precipitado de soluções por organismos, formando aragonita ($CaCO_3$) e calcita ($CaCO_3$), ou dolomita [$CaMg(CO_3)_2$] e fosfatos, principalmente apatita [$Ca_5(PO_4,CO_3)_3.(F,OH,Cl)$]. Em evaporitos, o cálcio também é precipitado como gipsita ($CaSO_4.2H_2O$), sendo assim um típico mineral de depósitos de sal, cristalizando nos estágios iniciais. Possui ampla utilização na indústria, na construção civil (cal virgem – CaO, e tintas), como componente do vidro, no refinamento de petróleo e como importante constituinte do cimento *Portland* (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É também usado como insumo da produção agrícola e como fertilizante na forma de fosfato e sulfato de cálcio (PEIXOTO, 2004). O cálcio é o elemento mais abundante no nosso corpo (99% incorporado nos ossos e dentes – como fosfatos de cálcio). É um nutriente essencial para todos os seres vivos, onde a vitamina D tem um importante papel na absorção do cálcio nos ossos. É responsável pela contração muscular, ativação e secreção de enzimas, permeabilidade das membranas celulares, transmissão de impulsos nervosos e regulagem cardíaca (MINERAIS DO PARANÁ, 2005; KOLJONEN, 1992). Devido à sua reatividade e por serem facilmente intemperizáveis, os calcários são barreiras geoquímicas, aumentando o pH das águas e reduzindo a mobilidade dos metais. Tanto em ambiente oxidante quanto em ambiente redutor, a sua mobilidade é moderadamente alta. Ocorre como depósito sedimentar químico derivado de exalações (gipso) e sedimentar marinho (calcário e gipsita) (BIONDI, 2003). As principais jazidas de gipsita são encontradas na China, no Irã, nos Estados Unidos, na Espanha, na Tailândia, no México e no Japão. No Brasil, a gipsita é encontrada em Grajaú-MA (BIONDI, 2003).

No levantamento geoquímico, o elemento Ca foi detectado em 100% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,01 e 351,00 mg/L, média igual a 11,67 mg/L, mediana igual a 7,49 mg/L e *background* entre 3,88 e 11,85 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 94% das amostras, com concentrações variando entre <0,01 e 3,43%, média igual a 0,08 %, mediana igual a 0,05 % e *background* entre 0,03 e 0,10%. No solo, foi detectado em 80% das amostras de solos, com concentrações variando entre <0,01 e 2,05%, média igual a 0,07%, mediana igual a 0,04% e *background* entre 0,02 e 0,08%.

Cd - Cádmio

O cádmio é um metal de transição, com coloração branco-prateada a azulada, maleável, dúctil e, em pó, queima na presença do ar. Durante a cristalização magmática concentra-se nas fases residuais e hidrotermais de baixa temperatura (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O Cd possui propriedades químicas semelhantes ao Zn e entra facilmente em solução durante os processos intempéricos, ocorrendo principalmente como Cd^{+2}, além de íons complexos e quelatos orgânicos. A mobilidade do Cd^{+2} em ambientes geoquímicos naturais é controlada pelo pH e Eh, e o conteúdo de Cd nos solos é determinado pela rocha subjacente ao mesmo (KABATA-PENDIAS;

PENDIAS, 1992). Ocorre associado com minerais de Zn (esfalerita – ZnS), além dos raros minerais grenockita (CdS) e otavita ($CdCO_3$). É utilizado, principalmente, na metalurgia, tubos de imagem de TV, ligas de Ni-Cd para baterias recarregáveis, ligas de baixo ponto de fusão usadas na soldagem, fabricação de células fotovoltaicas, estabilizadores de materiais plásticos e como pigmento. É intrinsecamente tóxico e a absorção dos compostos de Cd, através da pele e da ingestão, é geralmente pequena, mas quando inalado, 30%-50% entra na corrente sanguínea. Assim, quando absorvido pelo organismo é fortemente retido e acumulado e, com isso, pequenas dosagens ingeridas por longo período podem causar danos no organismo, provocando doenças respiratórias e renais que podem conduzir ao óbito (*AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY*, 1995). Em ambientes oxidantes com pH<4, a sua mobilidade é moderadamente alta, e com pH 5-8 é ligeiramente móvel, mas em ambiente redutor é imóvel. A maioria do cádmio utilizado pela indústria, geralmente, é recuperado como subproduto a partir de concentrados de Zn, Cu ou Pb (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). As principais jazidas estão localizadas na Índia, na China, na Austrália, no Cazaquistão, no México, no Peru, nos EUA, na Polônia e na Rússia (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011).

No levantamento geoquímico, o elemento Cd foi detectado em duas amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,001 e 0,002 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,001 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 62% das amostras, com concentrações variando entre <0,01 e 1,75 ppm, média igual a 0,03 ppm, mediana igual a 0,02 ppm e *background* entre <0,01 e 0,03 ppm. No solo, foi detectado em 50% das amostras, com concentrações variando entre <0,01 e 0,59 ppm, média igual a 0,02 ppm, mediana igual a <0,01 ppm e *background* entre <0,01 e 0,03 ppm.

Ce - Cério

O cério é um metal de transição pertencente à série dos lantanídeos (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu) ou elementos terras-raras (ETR), tendo coloração cinza levemente prateada, maleável, dúctil e resistente, bem reativo quando exposto ao ar úmido. Sua geoquímica é influenciada pela contração dos lantanídeos e, durante os processos magmáticos, o fracionamento do Ce ocorre acompanhado do íon La^{+3} em alguns minerais acessórios, sendo que esses dois elementos possuem maior afinidade com magmas ácidos do que básicos. A forma Ce^{+4} ocorre em solos e, durante os processos intempéricos, tornam-se relativamente enriquecidos em ETRL (elementos terras-raras leves; série La-Sm) (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). O Ce é o mais abundante dos ETR, sendo encontrado, principalmente, na monazita (La, Ce,Th)(PO_4.SiO_4)], na cerita [$(Ce,La,Ca)_9(Fe,Mg)$]. [$(OH)_3$.$SiO_3(OH).(SiO_4)_6$], na bastnasita [(La,Ce)CO_3(F.OH)] e na allanita [(Ca,La,Al_2,$Fe(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$], em silicatos e outros minerais incomuns, tais como steenstrupita, parisita, cerianita, knopita, loparita e samarskita (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Utilizados, principalmente, como ligas metálicas com La, Pr e Nd (fabricação do metal *Misch*); superímãs; combinado com Fe e Mg para pedras de isqueiro; como catalisador de automóveis; foguetes sinalizadores luminosos; em fornos autolimpantes para reduzir o acúmulo de gorduras; polimento ótico de alta precisão; sedativo do sistema nervoso e na indústria do vidro. Não apresenta papel biológico conhecido e o nitrato de cério é usado como remédio em dispepsia e vômitos (principalmente na gravidez), mas alguns compostos são considerados altamente tóxicos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É imóvel em ambiente oxidante e redutor. O Ce está associado a carbonatitos e complexos ígneos alcalinos do tipo *Mountain Pass, Bayan Obo*; veios relacionados a intrusões alcalinas; alguns depósitos de Fe associados com processos hidrotermais magmáticos; IOCG tipo *Olimpic Dam*; Mo-pórfiro tipo C*límax*; pegmatitos; fosfatos estratiformes residuais do tipo *Southeast Idaho* e *Poço de Caldas*; *paleoplacers* tipo *Elliot Lake e Witwatersrand;* e *placers* (LONG *et al*., 2010). As principais jazidas estão localizadas na China (maior produtor), na Rússia, nos EUA, na Índia, na Austrália, no Brasil e na Malásia. No Brasil, as principais jazidas encontram-se em Poços de Caldas-MG e em Guarapari-ES (Ti-Zr-ETR) (LONG *et al*., 2010 e BIONDI, 2003).

No levantamento geoquímico, o elemento Ce não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 1,38 e >1.000 ppm, média igual a 83,72 ppm, mediana igual a 33,91 ppm e *background* entre 14,18 e 80,44 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 3,52 e 274,49 ppm, média igual a 62,47 ppm, mediana igual a 51,37 ppm e *background* entre 30,84 e 82,65 ppm.

CE - Condutividade Elétrica

A capacidade da água de conduzir uma corrente elétrica é denominada condutividade e depende

da concentração dos íons presentes na solução. Depende também da temperatura e, por isso, essas medidas devem estar sempre associadas. A unidade básica de medida da condutividade é mhos/m (antiga) ou Siemens/m, sendo comumente expressa nos seus submúltiplos (mS/cm, uS/cm, dS/m). Essa unidade pode ser usada empiricamente para determinação de sólidos totais dissolvidos (*TDS*) em mg/L. Para obtenção deste valor, deve-se multiplicar o valor encontrado em umhos/cm por um fator entre 0,55 e 0,9, dependendo da temperatura e do material constituinte da água analisada. Em águas onde predominam os íons cloreto (Cl^-) e sódio (Na^+), este fator está em torno de 0,67. Em águas com predominância de sulfatos ($SO4^{-2}$), o fator deve ser mais elevado. A água destilada em laboratório serve como padrão e apresenta condutividade de 0,5 a 3,0 µS/cm.

Cada corpo de água tende a ter um grau relativamente constante de condutividade que, uma vez estabelecido, pode ser usado para comparação com medidas regulares, do mesmo ponto, de condutividade. Mudanças significativas podem ser indicadores de que processos de poluição estão ocorrendo com a descarga de material na água. Um dos fatores que influencia a condutividade nos corpos de água é a formação geológica da área em questão. Altos índices de condutividade são ocasionados por meio de fontes não pontuais como efluentes de áreas residenciais/urbanas, águas de drenagem de sistemas de irrigação e escoamento superficial de áreas agrícolas, principalmente, em regiões áridas e semiáridas, em que a evapotranspiração excessiva causa o acúmulo de sais. Efluentes industriais, como fontes localizadas, também liberam altos teores de íons dissolvidos (SISTE, 2011).

No levantamento geoquímico, a condutividade elétrica foi medida em 98% das estações de coleta de água de drenagem e apresentou valores entre 0,002 e 51,190 mS/cm, média igual a 0,330 mS/m, mediana igual a 0,070 mS/cm e *background* entre 0,041 e 0,115 mS/cm.

Cl - Cloro

A alta reatividade do Cl não permite que o mesmo seja encontrado na crosta terrestre em estado elementar, ocorrendo sob a forma de cloretos, cloratos, percloratos, cloritos e hipocloritos, além de formar compostos orgânicos (haletos). Ocorre, principalmente, na forma de cloreto de sódio nas minas de sal-gema e dissolvido na água do mar. A concentração média crustal do cloro é 130 ppm e, em águas fluviais, é 7.800 ppb (LEVINSON, 1974). Ocorre combinado com outros elementos, sobretudo na forma de cloreto de sódio (NaCl) e também em outros minerais como a silvinita ou na carnallita. Nas águas superficiais, estão presentes como cloretos de cálcio, sódio e magnésio. Na água do mar, sua concentração pode chegar a 25.000 ppm. O Cl é utilizado na fabricação da resina plástica policloreto de vinila (PVC), solventes clorados, agrotóxicos, no branqueamento da polpa de celulose, no tratamento de água potável e de piscinas, como intermediário na síntese química e em vários produtos químicos, como anticoagulantes, poliuretanos, lubrificantes, amaciantes de tecidos, fluidos para freios, fibras de poliéster, insumos farmacêuticos. O cloro líquido também tem aplicação como matéria-prima no processo produtivo do cloreto de hidrogênio (gás), precursor do ácido clorídrico (líquido a 37%), do hipoclorito de sódio e do dicloroetano. O íon cloreto (Cl^-) está presente nos fluidos dos corpos dos animais superiores, inclusive dos seres humanos. É um dos mais importantes íons na regulação da pressão osmótica, mantendo o balanço aquoso, participa no equilíbrio ácido-base e na manutenção do pH sanguíneo e, como ácido clorídrico, está presente no suco gástrico, onde o pH pode chegar a ser entre 1 e 2. O maior efeito adverso da ingestão aumentada de cloreto de sódio é a elevação da pressão sanguínea, reconhecidamente um fator de risco para doenças cardiovasculares e renais (TRAMONTE, 2012). Nas águas superficiais, é fonte importante de descargas de esgotos sanitários. Diversos são os efluentes industriais que apresentam concentrações elevadas de cloreto, como os da indústria de petróleo, algumas indústrias farmacêuticas, curtumes, entre outras. Nas regiões costeiras, através da intrusão salina ou em áreas com evaporação maior do que a precipitação, são encontradas águas com níveis altos de cloreto. O cloro reage com substâncias orgânicas, principalmente em meio aquoso, podendo formar ácidos tóxicos, exercendo efeito direto em tecidos do trato respiratório e causando irritação nos olhos, como lacrimejamento, tosse, dor de cabeça, falta de ar e sensibilidade à luz. Segundo Levinson (1974), o Cl possui elevada mobilidade em qualquer condição ambiental, de oxidante até redutora. Um dos seus principais compostos é o sal comum, NaCl. Uma das duas principais fontes industriais deste sal é o sal de rocha. Em certos casos, extrai-se o sal de rocha dissolvendo-o em água, produzindo uma solução que pode chegar a ter 25% de cloreto de sódio. Mais conhecida, porém, é a produção de sal pela simples evaporação da água do mar e posterior purificação

por cristalização, correspondendo somente a cerca de 10% do sal produzido mundialmente (PEIXOTO, 2003). Os EUA são os maiores produtores, com cerca de 23% da produção mundial, que foi de, aproximadamente, 200 milhões de toneladas no ano de 2000; neste mesmo ano, o Brasil produziu cerca de 7 milhões de toneladas, colocando-se como o oitavo produtor do mundo (PEIXOTO, 2003).

No levantamento geoquímico, o cloreto foi detectado em 100% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre 0,01 e 258,72 mg/L, média igual a 7,03 mg/L, mediana igual a 3,22 mg/L e *background* entre 1,26 e 8,45 mg/L. No sedimento de fundo e solo, o elemento não foi analisado.

Co - Cobalto

O cobalto é um metal duro, quebradiço, possui afinidade calcófila e parte siderófila, e ocorre em dois estados de oxidação (Co^{2+} e Co^{3+}), sendo possível a formação de complexo aniônico ($Co.OH_3$), e não migra em fases solúveis alcalinas (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Em processos magmáticos iniciais, o Co^{2+} substitui o Fe^{2+} e o Mg^{2+}, sendo mais enriquecido em rochas básicas (WEDEPOHL, 1978). Ocorre principalmente como siegenita $(NiCo)S_4$, cobaltita (CoAsS), esmaltita $(CoNiFe)As_2$, pirrotita [Fe(CoNi)S], pentlandita-cobaltopentlandita $(NiFeCo)_9S_8$, eritrina $[CO_3(AsO_4)_2.8H_2O]$, asbolana $[(CoNi)(MnO_2)_2(OH)_2.nH_2O]$, saflorita $(CoFe)As_2$ e cobaltocalcita $(CaCo)CO_3$. O cobalto é utilizado na confecção de ligas de Ni-Cr-Co-Mo para a indústria aeroespacial, aço inoxidável (Co-Cr-Fe), e também é utilizado no aumento da resistência de aço para ferramentas, usos químicos, cerâmicos e ligas resistentes à corrosão. O radioisótopo ^{60}Co é usado como fonte de radiação gama em radioterapia, esterilização de alimentos (pasteurização fria) e radiografia industrial para o controle de qualidade de metais (detecção de fendas). (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O Co é um nutriente essencial, necessário à formação da vitamina B_{12}, mas em elevadas concentrações é tóxico e carcinogênico, podendo resultar em danos nos pulmões, coração e formação de dermatites. Exposições a altas doses podem ocasionar lesões ao fígado e aos rins (KOLJONEN *et al.*,1992). Em condições oxidantes com pH<4, possui mobilidade moderadamente alta; com pH 5,0-8,0 é ligeiramente móvel e em condições redutoras é imóvel. O Co é extraído como subproduto, estando associado aos depósitos de: Ni-Cu em rochas máfico-ultramáficas; depósitos de processos superficiais - Ni laterítico; em rochas sedimentares clásticas do tipo *Olimpic Dam* (LICHT; MELLO; SILVA, 2007) e em nódulos e crostas manganesíferas no assoalho oceânico (ainda não explorado). As principais jazidas estão localizadas na República Democrática do Congo (40,3%); na Austrália (10,2%); na China (10%); na Rússia (10%); no Canadá (8%); em Cuba (5,6%); na Zâmbia (4%); em Nova Caledônia (2,1%); e outros (8%). No Brasil (1,6%), os principais depósitos encontram-se em Niquelândia e Americana do Brasil - GO.

No levantamento geoquímico, o elemento Co foi detectado em 5% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,003 e 0,010 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,003 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,2 e 93,1 ppm, média igual a 7,8 ppm, mediana igual a 5,1 ppm e *background* entre 2,5 e 9,8 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,3 e 80,4 ppm, média igual a 6,3 ppm, mediana igual a 3,4 ppm e *background* entre 1,6 e 6,8 ppm.

Cr - Cromo

O cromo é um metal de cor cinza, duro, quebradiço, que apresenta pouca atração magnética e ocorre em estados de oxidação 2^+ a 6^+. Os compostos com valências 3^+ e 6^+ são mais comuns (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). O Cr^{+3} é enriquecido em rochas ultrabásicas em associação com Mg e Ni. Em retículos minerais, pode substituir Fe, Ti, Al e Mg. Nos primeiros estágios de diferenciação magmática, o cromo é removido das fusões silicatadas formando óxidos e silicatos, e sob condições oxidantes o Cr^{+6} é facilmente dissolvido (KOLJONEN, 1992, MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Ocorre como cromita ($FeCr_2O_4$) ou $[(Fe,Mg)(Cr,Al)_2O_4]$ e suas variações (magnesiocromita, aluminocromita e cromopicotita). Por serem resistentes ao intemperismo físico e químico, esses minerais são considerados resistatos. É utilizado, principalmente, na fabricação de aço inoxidável (Fe-C-Cr) e ferro-ligas, na indústria química, na produção de pigmentos para tinta, e de refratários. É um micronutriente essencial aos seres humanos - funciona aumentando a tolerância à glicose no sangue, o que potencializa a ação da insulina (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Se inalado, o Cr^{+6} pode causar irritações nasais e sangramentos. Se ingerido, ocorrem problemas estomacais, úlceras, convulsões e danos nos rins e no fígado, e, por

contato dermal, provoca ulcerações na pele. Tanto em condições oxidantes como redutoras com pH 5,0-8,0, mostra-se imóvel. Os depósitos de Cr ocorrem associados a rochas máficas e ultramáficas com blocos de cromitito, relacionadas aos depósitos de EGP do tipo *Merensky Reef* e *Bushveld*, e os depósitos do tipo podiformes (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). As principais jazidas estão localizadas no Cazaquistão, na África do Sul, na Índia e nos EUA (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). No Brasil, o cromo é encontrado, especialmente, nos estados da Bahia (distritos de Campo Formoso e do Vale do Jacurici), Amapá (Mazagão) e Minas Gerais (Alvorada de Minas).

No levantamento geoquímico, o elemento Cr foi detectado em 7% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,003 e 0,0422 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,003 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 2 e 541 ppm, média igual a 40 ppm, mediana igual a 26 ppm e *background* entre 15 e 47 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre <1 e 254 ppm, média igual a 49 ppm, mediana igual a 40 ppm e *background* entre 23 e 61 ppm.

Cs - Césio

O césio é um metal alcalino de coloração ouro-prateada, dúctil, macio e apresenta baixo ponto de fusão. Tal como o mercúrio (Hg) e o gálio (Ga), encontra-se em estado líquido a temperaturas próximas do ambiente, mas não é encontrado livre na natureza. É o mais eletropositivo dos elementos alcalinos e reage explosivamente na presença de água fria. Comporta-se como o potássio durante a diferenciação magmática, substituindo-o nos retículos cristalinos de minerais do grupo dos aluminossilicatos e feldspatos. Ocorre associado aos pegmatitos junto com elementos raros como o Li e Be (KOLJONEN, 1992). É enriquecido em rochas magmáticas ácidas (graníticas), sedimentos argilosos e pegmatitos. No intemperismo, comporta-se como o Rb e K (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O Cs migra lentamente nos solos, sendo adsorvido pelos coloides e sedimentos ricos em argilominerais, devido ao seu raio iônico (KOLJONEN, 1992). O isótopo ^{133}Cs é a forma estável natural do elemento (não radioativa), enquanto que o ^{137}Cs é a sua forma isotópica radioativa e menos abundante. Ocorre na zeólita polucita [$(Cs,Na)_2Al_2Si_4O_{12}.H_2O$)] e na mica lepidolita [$KCsLi_2Al(Al,Si)_3O_{10}(F,OH)_2$]. É utilizado como catalisador na indústria química, relógio atômico e células fotoelétricas. Utiliza-se seu isótopo radioativo no tratamento do câncer. Não apresenta função biológica conhecida, mas devido a sua similaridade química com o K, pode substituí-lo no corpo humano, bem como pode danificar as células se expostas a grandes quantidades de Cs radioativo (*AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY*, 1995). Tanto em condições oxidantes quanto em redutoras, o Cs é imóvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). É encontrado em depósitos de sistemas endomagmáticos hidrotermais relacionados a corpos pegmatíticos zonados (LICHT; MELLO; SILVA, 2007); concentrações menores também são conhecidas em salmouras no Chile e na China e em sistemas geotérmicos na Alemanha, Índia e Tibete (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). As principais jazidas estão localizadas no Canadá e no Zimbabwe (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). No Brasil, não há registro de mineral com Cs em exploração, sendo algumas ocorrências do filossilicato lepidolita relacionadas às rochas pegmatíticas e quartzitos (RN e PB).

No levantamento geoquímico, o elemento Cs não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre <0,05 e 7,33 ppm, média igual a 0,76 ppm, mediana igual a 0,34 ppm e *background* entre 0,15 e 1,06 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,07 e 8,33 ppm, média igual a 1,24 ppm, mediana igual a 0,84 ppm e *background* entre 0,52 e 1,37 ppm.

Cu - Cobre

O cobre (do latim – *cuprum*) é um metal de transição, de cor avermelhada, alta condutividade térmica e elétrica, maleável e dúctil. Assim como o Ni, Zn e Pb, possui forte afinidade com o enxofre, formando minerais sulfetados sob condições redutoras. Nos processos supergênicos, em condições oxidantes, forma hidróxidos e carbonatos. Em processos magmáticos, o íon Cu^{+2} concentra-se nos diferenciados primários, sendo particionado nos sulfetos e óxidos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Ocorre como calcopirita ($CuFeS_2$), calcocita (Cu_2S), bornita (Cu_5FeS_4), cuprita (Cu_2O), tetraedrita (Cu_3SbS_3), malaquita [$Cu_2CO_3(OH)$], azurita [$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$], cobre nativo, entre outros. Utilizado na indústria eletroeletrônica, ligas, fabricação de automóveis, indústria química e pigmentos. O Cu é importante para a fotossíntese vegetal e essencial para

a boa saúde humana, mas em excesso e exposições prolongadas pode causar irritações nas vias respiratórias, vertigem, náuseas e diarreias. O cobre é indispensável à vida em geral, participando no organismo humano do processo de fixação do ferro na hemoglobina do sangue (KOLJONEN, 1992; MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Em ambientes oxidantes com pH<4, possui mobilidade moderadamente alta e com pH 5-8 é ligeiramente móvel, mas em ambientes redutores é imóvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Os depósitos são formados por intrusões porfiríticas (Cu, Cu-Au e Cu-Mo pórfiros); vulcânicas máficas subaéreas (Cu em basaltos); vulcânicas máficas submarinas (tipo *Chipre* e *Beshi*); máfico-ultramáficas (Ni-Cu, tipo *Duluth*, *Norils'k* e *Limassol* em komatiítos, dunitos); vulcânicas félsicas a máficas submarinas (tipo *Kuroko*); rochas sedimentares clásticas (tipo *Olimpic Dam* e *redbed*); mármores e dolomitos (tipo *Kipushi*); processos superficiais, Cu secundário (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). As principais jazidas estão localizadas no Chile, no Peru, nos EUA, na China, na Indonésia, na Austrália, na Rússia, na Zâmbia, no Canadá e na Polônia (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). No Brasil, tem-se os grandes depósitos de Carajás, no Pará, além de depósitos na Bahia e em Goiás (BIONDI, 2003).

No levantamento geoquímico, o elemento Cr foi detectado em 16% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,002 e 0,539 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,002 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,6 e 277 ppm, média igual a 19,3 ppm, mediana igual a 9,9 ppm e *background* entre 5,2 e 20,1 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 1,0 e 315,3 ppm, média igual a 27,0 ppm, mediana igual a 11,8 ppm e *background* entre 7,5 e 24,5 ppm.

F - Flúor

O F é um halogênio abundante na crosta terrestre, sendo o elemento mais eletronegativo e reativo de todos na tabela periódica. É um elemento químico gasoso, não metálico, de cor amarelo-esverdeada e cheiro penetrante. A ocorrência do F está relacionada aos processos ígneos, ocorrendo, em geral, como um componente da fase volátil, concentrando-se nas fases finais da evolução das rochas alcalinas, carbonatitos, depósitos hidrotermais, zonas de alteração e pegmatitos. Está presente no meio ambiente sob a forma de fluoretos, que podem ser encontrados, em pequenas quantidades, na água, ar, plantas e animais. O F também pode ser encontrado em águas naturais provenientes de efluentes industriais (indústrias de vidro, de polímeros e de fios condutores de eletricidade). Segundo Rose, Hawkes e Webb (1979) a concentração média crustal de flúor é de 660 ppm, em solos é de 200 ppm e em águas as concentrações ocorrem no intervalo de 50 a 1.000 ppb. Levinson (1974) reporta que a média crustal de flúor é 625 ppm e em águas fluviais é de 100ppb. Ocorre, principalmente, em minerais como fluorita, criolita e fluorapatita. Destacam-se como os principais usos metalúrgicos: na fabricação do aço, como fluidificante de escórias; fabricação do alumínio; fundição de ligas especiais; fundição de zinco e magnésio. Na indústria química, o uso mais tradicional é a obtenção do flúor elementar, fluoretos inorgânicos e ácido fluorídrico (HF), úteis nas indústrias química e cerâmica, entre outras. Compostos hidrocarbonados com cloro e flúor formam gases usados em equipamentos de refrigeração (CFC, em desuso devido ao efeito nocivo para a camada de ozônio da atmosfera). Elemento de proteção contra cáries em cremes dentais, na forma de fluoreto de sódio (NaF) ou de estanho (SnF_2). Sintetizam-se, ainda, em medicamentos à base de organofluorados, como antibióticos. Tem sido prática, com orientação da Organização Mundial da Saúde (OMS), a adição de fluoretos à água potável para reduzir a incidência de cáries dentárias. Esse procedimento, no entanto, tem sido discutido, principalmente, em regiões em que a concentração de fluoretos já é naturalmente elevada. Em doses moderadas, contribui para a redução das cáries dentárias e solidez dos ossos, porém o excesso no organismo pode causar a fluorose, cujos primeiros sintomas são o aparecimento de manchas escuras nos dentes, seguindo-se à deformação do esqueleto e alterações da função renal. É um elemento altamente móvel em todas as condições ambientais. A fluorita é encontrada em depósitos filoneanos de origem hidrotermal e de metamorfismo de contato. Os principais produtores mundiais, que exportam para o Brasil, são o México e a África do Sul. Segundo o Sumário Mineral Brasileiro (DNPM, 2008), as reservas brasileiras de fluorita localizam-se nos estados de Santa Catarina (58%), Paraná (29%) e Rio de Janeiro (13%). Existem, também, ocorrências de criolita (Na_3AlF_6) associadas à cassiterita, na Mina de Pitinga, em Presidente Figueiredo-AM, que constituem potencial fonte de flúor, entretanto, sem viabilidade econômica comprovada até o momento.

No levantamento geoquímico, o fluoreto foi detectado em 56% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,01 e 0,99 mg/L,

média igual a 0,01 mg/L, mediana igual a 0,04 mg/L e *background* entre 0,01 e 0,10 mg/L. No sedimento de fundo e solo, o elemento não foi analisado.

Fe - Ferro

O ferro é um metal de transição com coloração branco-prateada, magnético, altamente suscetível à corrosão, bom condutor de calor e eletricidade, dúctil e maleável. É um dos maiores constituintes da litosfera e nas rochas está presente nas classes dos silicatos, óxidos, sulfetos e carbonatos, sendo encontrado em maiores quantidades nas rochas ígneas máficas (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Em alguns minerais, o íon Fe^{+3} é facilmente substituído por Al, Cr, Ti e V, enquanto o íon Fe^{+2} por Ni, Co, Mg e Mn (KOLJONEN, 1992). O intemperismo sobre o Fe é dependente do sistema Eh e pH do meio; nos solos, o Fe ocorre principalmente na forma de óxidos e hidróxidos (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Ocorre como hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), siderita ($FeCO_3$), limonita ($Fe_2O_3.nH_2O$), ilmenita ($FeTiO_3$), pirita (FeS_2), pirrotita (FeS) e outros. Utilizado na manufatura do ferro e aço e como ligas, compostas por Fe e um ou mais elementos. O aço é uma liga metálica formada por Fe e C (C = 0,008-2,11%) e a adição de alguns elementos às ligas de aço conferem algumas propriedades especiais ao mesmo (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É essencial para os processos fisiológicos de todos os seres vivos. Tem papel fundamental no metabolismo de algumas enzimas, e como componente da hemoglobina, cuja deficiência conduz à anemia (KOLJONEN, 1992). Em ambiente supergênico oxidante com pH<4 e pH 5-8, é imóvel; em ambiente redutor, é ligeiramente móvel a imóvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Os depósitos são provenientes de rochas máficas e ultramáficas do *tipo Fe-Ti-V*; escarnitos com magnetita, tipo *Algoma* e tipo *Superior*; e depósitos de enriquecimento supergênico (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). As principais jazidas estão localizadas no Brasil, na Austrália, na China, na Índia, na Rússia, na Mauritânia, no Cazaquistão, nos EUA, no Canadá e na Ucrânia. No Brasil, ocorrem os grandes depósitos no Pará (Carajás), Minas Gerais (Quadrilátero Ferrífero) e Mato Grosso do Sul.

No levantamento geoquímico, foi detectado em 94% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,002 e 89,000 mg/L, média igual a 0,800 mg/L, mediana igual a 0,564 mg/L e *background* entre 0,261 e 0,950 mg/L. Nos sedimentos de fundo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,07 e 15,00%, média igual a 2,48%, mediana igual a 2,15% e *background* entre 1,28 e 3,61%. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,90 e 16,50%, média igual a 4,59%, mediana igual a 3,36% e *background* entre 2,31 e 5,76%.

Ga - Gálio

O gálio é um metal de coloração prateada brilhante (estado sólido) a acinzentada (fundido), possui ponto de fusão baixíssimo, ou seja, é um metal que pode ser líquido em temperatura ambiente, tem baixa solubilidade, em estado puro é pouco atacado por ácidos e apresenta-se como supercondutor em temperaturas em torno de -272°C. Sua distribuição acompanha a do Al, sendo que a razão Ga/Al varia pouco em uma ampla variedade de rochas ígneas (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É imóvel em ambientes superficiais em virtude da baixa solubilidade de seu hidróxido dominante [$Ga(OH)_3$] e concentra-se em argilominerais e bauxitas durante o processo intempérico. Durante o metamorfismo, é retido em feldspatos e granadas (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Não é encontrado livre na natureza nem forma minerais, ocorrendo em pequenas concentrações associado a minérios de outros metais como diásporo [AlO(OH)], blenda/esfalerita (ZnS) e bauxita (mistura de óxidos/hidróxidos de Al), sendo explorado como subproduto. É empregado na indústria de semicondutores na fabricação de diodos, LEDs, transistores, sensores de temperatura, luz e campos magnéticos. Também é empregado na fabricação de espelhos, ligas de baixo ponto de fusão e na medicina nuclear. Ainda não foi identificada função biológica no organismo humano e seus compostos não são considerados tóxicos ((MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O Ga é imóvel seja em condições oxidantes ou redutoras (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Esse metal é aproveitado como subproduto relacionado aos depósitos superficiais de bauxita e aos depósitos de Cu-Pb-Zn do tipo *Kipushi* (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). As principais jazidas estão localizadas na China, na Alemanha, no Cazaquistão e na Ucrânia (principais produtores); na Hungria, no Japão, na Rússia e na Eslováquia (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). No Brasil, não há jazidas ou ocorrências registradas, nem extração como subproduto relacionado com metais a ele associado.

No levantamento geoquímico, o elemento Ga não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 100% das amostras, com concentração variando entre 0,3 e 85,9 ppm, média igual a 6,0 ppm, mediana igual a 3,8 ppm e

background entre 1,5 e 8,2 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 1,1 e 51,3 ppm, média igual a 13,4 ppm, mediana igual a 10,2 ppm e *background* entre 5,9 e 18,7 ppm.

Ge - Germânio

O germânio não é muito abundante, podendo mesmo afirmar-se que se trata de um elemento raro. É um semimetal sólido, duro, cristalino, de coloração branco-acinzentada. Apresenta a mesma estrutura cristalina do diamante e resiste à ação dos ácidos e álcalis. Os seus principais minerais são argirodita ($4Ag_2S.GeS_2$), germanita ($7CuS.FeS.GeS_2$), canfieldita ($4Ag_2S.(Sn,Ge)S_2$) e renierita ((Cu,Ge, Fe, Zn, As)S). As aplicações do germânio estão limitadas ao seu alto custo. É usado na indústria metalúrgica e no fabrico de dispositivos eletrônicos de estado sólido. Aplica-se no fabrico de ligas com berílio, para aumentar a ductilidade, ou com cobre, para melhorar a resistência química. Certas ligas usadas em soldas também contêm germânio. Como óxido (GeO_2), o germânio é um importante constituinte de vidros industriais com elevada transmissão de infravermelhos e índice de refração. Em joias, é utilizado em liga metálica de ouro. Alguns compostos de germânio (tetracloreto de germânio) apresentam certa toxicidade nos mamíferos, porém são letais para algumas bactérias. O Ge é pouco móvel em ambientes ácidos a neutros (pH<4 até 8) (ANDREWS-JONES, 1968). Os únicos minerais rentáveis para a extração do germânio são: germanita (69% de germânio) e ranierita (7-8% do elemento); além disso, está presente no carvão, na argirodita e em outros minerais. A maior quantidade, em forma de óxido (GeO_2), obtém-se como subproduto do zinco ou de processos de combustão de carvão (na Rússia e na República Popular da China encontra-se em processo de desenvolvimento). A China é o maior produtor mundial, porém com interesse comercial salientam-se os depósitos de germanita em Tsumeb (região de Oshikoto no norte da Namíbia) e os de renierita em Katanga (Congo).

No levantamento geoquímico, o elemento Ge não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 21% das amostras, com concentrações variando entre <0,1 e 17 ppm, média igual a 0,2 ppm e mediana e *background* igual a <0,1 ppm. No solo, foi detectado em 16% das amostras, com concentrações variando entre <0,1 e 0,3 ppm, e média, mediana e *background* igual a <0,1 ppm.

Hf - Háfnio

O háfnio é um metal dúctil, prateado, brilhante e resistente à corrosão. Tem propriedades cristaloquímicas semelhantes às do zircônio e, por isso, tais elementos são encontrados sempre juntos na natureza. Como seus raios iônicos são similares, o Hf apresenta-se associado a quase todos os minerais de zircônio, embora em menor teor. As fontes que contêm háfnio coincidem com os minerais de zircônio: baddeleyíta (ZrO_2) e zircão ($ZrSiO_4$) (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É utilizado em barras de controles de reatores nucleares; produção de transistores e microprocessadores (em substituição ao óxido de silício); para ampliar a resistência à corrosão; lâmpadas incandescentes; eliminador de oxigênio em válvulas eletrônicas e em ligas de alta temperatura. Como carboneto, nitreto e boreto, formam compostos com ponto de fusão dos mais elevados conhecidos até o momento (3.000°C-4.000°C). O háfnio não apresenta papel biológico conhecido e seus compostos não são considerados tóxicos, apesar de ser necessário cautela em seu manuseio (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O Hf é imóvel seja em condições oxidantes ou redutoras e os minerais de zircônio que os contêm são considerados resistatos, por serem dos mais resistentes ao intemperismo. É encontrado como subproduto de óxido de zircônio em depósitos de rochas alcalinas associadas a carbonatitos; depósitos resultantes de processos de concentrações superficiais do tipo *placers,* associado a zircão (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). As principais jazidas estão localizadas nos EUA, na Austrália, no Brasil, na Rússia e na China. No Brasil, é extraído como subproduto do óxido de zircônio, principalmente associado à baddeleyíta (ZrO_2), nas minas de Jacupiranga-SP e Poços de Caldas-MG.

No levantamento geoquímico, o elemento Hf não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 95% das amostras, com concentrações variando entre <0,05 e 5,05 ppm, média igual a 0,33 ppm, mediana igual a 0,19 ppm e *background* entre 0,10 e 0,41 ppm. No solo, foi detectado em 96% das amostras, com concentrações variando entre <0,05 e 4,12 ppm, média igual a 0,46 ppm, mediana igual a 0,29 ppm e *background* entre 0,14 e 0,58 ppm.

Hg - Mercúrio

O mercúrio (do latim – *hydrargyrum*) é um metal de transição, denso, altamente volátil, pobre condutor de calor e eletricidade. Raramente ocorre livre na natureza e é líquido em condições de temperatura ambiente. Por ter cor prateada, também, é conhecido como hidrargírio ou prata líquida. O sedimento formado por materiais hidrolisados é um meio adequado para

a concentração supergênica de mercúrio. A permanência do Hg nos solos de ambientes tropicais é mais longa do que em outros sistemas ou compartimentos. Está ausente nas primeiras paragêneses magmáticas (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Seu principal mineral é o cinábrio (HgS). Tem facilidade em formar ligas com muitos metais como ouro, prata e estanho, denominadas amálgamas. É bastante utilizado para amalgamar ouro nos garimpos e minerações. É largamente empregado em instrumentos de laboratório (termômetro e barômetro), lâmpadas de vapor de mercúrio, relés, eletrodos na fabricação de baterias, na produção de pesticidas, pigmentos e em odontologia. Não desempenha papel biológico conhecido até o momento, sendo intrinsecamente tóxico (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O Hg orgânico (metilmercúrio e dimetilmercúrio) é altamente tóxico, sendo rapidamente absorvido pelos tratos respiratório, gastrointestinal e epidérmico. O Hg é biocumulativo, pois existem poucos caminhos no organismo humano para sua eliminação. Geralmente, é biomagnificado na natureza através da cadeia trófica, tendo características toxicológicas capazes de proporcionar doenças neurológicas, mutagênese e teratogênese. Os sais de mercúrio são altamente tóxicos, tais como: fulminato [$Hg(CNO)_2$], usado como detonante; cloreto de mercúrio (I) ou calomelano (Hg_2Cl_2), usado anteriormente como purgante, anti-helmíntico e diurético, e o cloreto de mercúrio (II), empregado como desinfetante e o primeiro remédio eficaz contra sífilis; timerosal [$COO\text{-}Na+(C_6H_4)(S\text{-}Hg\text{-}C_2H_6)$], usado como agente bacteriostático análogo ao merthiolate (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). As principais fontes pontuais de poluição são as indústrias de soda-cloro, através dos seus efluentes, e as usinas termoelétricas que utilizam carvão mineral. Em ambiente oxidante com pH<4 e entre 5-8, a mobilidade é moderadamente alta e, em ambiente redutor, é imóvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Os depósitos estão relacionados às fontes magmáticas vulcanogênicas de idades mais recentes e sedimentos vulcanoclásticos. As principais jazidas estão localizadas na China, na Rússia, no Quirguistão, no Peru, na Espanha e na Itália, existindo ocorrências no Alaska, em Arkansas, em Nevada, na Califórnia e no Texas (EUA) (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). A Mina de Almadén, na Espanha, está em operação contínua desde o ano 400 a.C.

No levantamento geoquímico, o elemento Hg foi detectado em 3% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,0003 e 0,0124 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,0003 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 45% das amostras, com concentrações variando entre <0,01 e 1,37 ppm, média igual a 0,03 ppm, mediana igual a <0,01 ppm e *background* entre <0,01 e 0,03 ppm. No solo, foi detectado em 62% das amostras, com concentrações variando entre <0,01 e 0,37 ppm, média igual a 0,03 ppm, mediana igual a 0,02 ppm e *background* entre <0,01 e 0,04 ppm.

In - Índio

O índio é um metal branco-prateado, calcófilo, brilhante, maleável, dúctil, resistente à corrosão, possui isótopos com meia-vida curta (^{111}In e ^{113}In), ponto de fusão baixo para um metal, e é bom condutor de eletricidade e de calor. Durante o intemperismo, acompanha o Fe^{3+} e Mn^{4+}, e parcialmente o Al^{3+}, precipitando na forma de hidróxidos de Fe. Pode formar diversas espécies iônicas em soluções ácidas, precipitando-se em condições de pH de 5-9 (KOLJONEN, 1992; MINERAIS DO PARANÁ, 2005). No solo, associa-se à matéria orgânica, sendo que concentrações mais altas são esperadas em horizontes mais superficiais, podendo refletir índices de poluição (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Forma raros minerais, tais como roquesita ($CuInS_2$), dzhalindita ($In(OH)_3$) e indita ($FeIn_2S_4$), mas sua ocorrência está geralmente associada a minerais hospedeiros, sendo assim um elemento farejador para sulfetos e Sn. É recuperado, principalmente, como subproduto do Zn, estando associado à esfalerita (ZnS), calcopirita ($CuFeS_2$) e cassiterita (SnO_2). Cerca de 45% do consumo mundial de índio destina-se para confecção de filmes (óxido de índio) em visores de cristal líquido; 35% em ligas e soldas; 15% em utilizações eletrônicas, na manufatura de transistores, como semicondutor e em baterias alcalinas (substituindo o Hg). O restante é utilizado em sistemas de telecomunicações com fibra ótica, controle de reatores nucleares e na medicina nuclear como radioisótopos de vida curta. Não apresenta papel biológico conhecido e seus compostos são considerados altamente tóxicos, causando problemas ao coração, fígado e rins, além de serem teratogênicos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É ligeiramente móvel em condições de pH 5-8 e imóvel em condições redutoras. Encontrado como sulfetos maciços (Zn e Sn) hospedados em depósitos vulcânicos exalativos "tipo *sedex*"; depósitos epitermais; associados a depósitos de Cu pórfiro; relacionados a *skarns*; associados a rochas félsicas intrusivas do tipo "Sn em *greisens*" (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*,

2011). As principais jazidas estão localizadas no Canadá, no Peru, na Rússia, na China, no Japão, no México, na Suécia e na Polônia. No Brasil, pode ser encontrado nas reservas estaníferas, principalmente no maciço da Serra da Mangabeira (GO), onde os teores de In oscilam de 0,05% a 0,94%, contido na cassiterita, além de anomalias associadas à esfalerita (DNPM, 2010).

No levantamento geoquímico, o elemento In não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 40% das amostras, com concentrações variando entre <0,02 e 0,95 ppm, média igual a 0,02 ppm, mediana igual a <0,02 ppm e *background* entre <0,02 e 0,03 ppm. No solo, foi detectado em 82% das amostras, com concentrações variando entre <0,02 e 0,22 ppm, média igual a 0,05 ppm, mediana igual a 0,04 ppm e *background* entre 0,02 e 0,08 ppm.

K - Potássio

O potássio (K – do latim *kalium*) é um metal alcalino, de cor prateada, mole, bom condutor de calor e eletricidade, que se oxida facilmente e, depois do Li, é o metal mais leve. Em virtude de sua alta reatividade, não é encontrado livre na natureza. Devido à similaridade entre os raios atômicos, pode ser substituído por Rb, Cs, Ba, Pb e Tl. É um dos constituintes maiores dos minerais formadores de rocha e o sexto mais comum na natureza, depois do Ca. Durante a diferenciação magmática, concentra-se progressivamente em K-feldspatos, como o ortoclásio ($KAlSi_3O_8$) e a microclina ($KAlSi_3O_8$), e outros silicatos, entre eles alunita [$KAl(SO_4)_2(OH)_6$], leucita ($KAlSi_2O_6$) e muscovita [$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$], o que faz com que fique mais enriquecido nas rochas ácidas do que nas básicas (KOLJONEN, 1992). Pode estar presente em soluções hidrotermais associado às mineralizações de cobre pórfiro e em pegmatitos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Ocorre em evaporitos, como a silvinita (mistura de silvita (KCl) e a halita (NaCl)), o nitro ou caliche (KNO_3), a carnalita ($KMgCl_3.6H_2O$), a polialita ($K_2SO_4.MgSO.2CaSO_4.2H_2O$), a cainita ($KCl.MgSO_4.3H_2O$), a langbeinita ($K_2SO_4.2MgSO_4$), a schoenita [$K_2SO_4.MgSO_4.6H_2O$] e a singernita ($K_2SO_4.CaSO_4.H_2O$) (DNPM, 2010). O principal uso do K é como fertilizante na agricultura, na forma de sulfatos e cloretos, em complementação ao uso de nitratos e fosfatos. A liga de K-Na é usada como meio de transferência de calor. Como agente redutor, é utilizado em aplicações terapêuticas, na produção de sal sem Na. Seus sais são essenciais para os processos vitais: é um macronutriente não tóxico, ativando reações enzimáticas. É um elemento importante para o crescimento das plantas e da dieta humana. Os íons de K^+ assim como os de Na^+ agem nas membranas celulares na transmissão de impulsos eletroquímicos dos nervos e fibras musculares. Por outro lado, os sais de K são extremamente tóxicos quando injetados na corrente sanguínea. O composto KCN (cianeto de potássio) e o HCN (ácido cianídrico) são letais, considerados hematóxicos (PEIXOTO, 2004). Em condições oxidantes (pH<4 e 5-8) e redutoras, são ligeiramente móveis (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). São encontrados em depósito sedimentar químico, derivado de exalações relacionadas a evaporitos (BIONDI, 2003). As principais jazidas estão localizadas no Canadá, na Rússia, na Bielorússia, na Alemanha e na China. O Brasil, até 2009, ocupava a décima colocação em termos de reservas e produção mundial de sais de potássio. As principais reservas subterrâneas de sais de potássio, no Brasil, localizam-se nos estados de Sergipe (minas Taquari/Vassouras e Santa Rosa do Lima) e Amazonas (Fazendinha e Arari) (DNPM, 2010).

No levantamento geoquímico, o elemento K foi detectado em 100% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre 0,005 e 3.844,00 mg/L, média igual a 46,328 mg/L, mediana igual a 2,580 mg/L e *background* entre 1,540 e 4,150 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 89% das amostras, com concentrações variando entre <0,01 e 1,07%, média igual a 0,11%, mediana igual a 0,05% e *background* entre 0,02 e 0,15%. No solo, foi detectado em 91% das amostras, com concentrações entre <0,01 e 0,93%, média igual a 0,07%, mediana igual a 0,03% e *background* entre 0,02 e 0,06%.

La - Lantânio

O lantânio é um metal de cor branco-prateada, maleável, sendo um dos mais reativos do grupo dos elementos terras-raras (ETR); oxida-se rapidamente quando exposto ao ar, não sendo encontrado livre na natureza. Os lantanídeos (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu) sempre ocorrem juntos na natureza e substituem o Ca na estrutura dos minerais. Os ETR leves (La-Sm) têm algumas propriedades químicas pouco distintas dos ETR pesados (Eu-Lu) e suas razões tendem a aumentar com a diferenciação magmática. Alguns elementos-traço, como Y, Th e Sc, podem ocorrer juntos com os lantanídeos, especialmente nos fosfatos. Alguns autores acrescentam o escândio (Sc) e o ítrio (Y) como ETR porque apresentam comportamentos químicos similares, perfazendo assim 17 elementos ((MINERAIS DO PARANÁ, 2005; KOLJONEN, 1992). O La é encontrado

em minerais que contêm outros metais terras-raras, como monazita [(La,Ce,Th)(PO_4.SiO_4)], bastnasita [(La,Ce)CO_3(F.OH)] e allanita [(Ca,La,Al_2,Fe(Si_2O_7)(SiO_4) O(OH)]. É usado na indústria eletroeletrônica; na composição de materiais de polimentos de vidros e lapidação; fabricação de lentes ópticas especiais; como catalisador no craqueamento do petróleo; na ressonância magnética nuclear; em cristais geradores de laser; supercondutores; absorvedores de hidrogênio; lâmpada de carbono nos equipamentos de projeção de cinemas; na produção de ferro fundido nodular; na confecção de esponjas usadas em sistemas de conservação de energia; melhoria na maleabilidade de ligas, ductibilidade e resistência ao impacto do aço e na datação de rochas e minérios (La-Ba) (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Este elemento é considerado com potencial econômico presente e futuro por ser usado em produtos de alta tecnologia. Na nutrição e no corpo humano, o La ainda não desempenha papel conhecido, mas como segue o Ca, encontra-se mais presente no esqueleto humano. Todos os compostos de La são considerados tóxicos, podendo causar problemas ao fígado, além de risco de explosão em laboratório (MINERAIS DO PARANÁ, 2005; KOLJONEN, 1992). Em condições oxidantes, com pH<4 e pH 5,0-8,0**,** e em condições redutoras, é imóvel. Ocorre em depósitos associados a carbonatitos; a rochas ígneas peralcalinas; aos depósitos de Cu-Au tipo IOCG; a pegmatitos; a *placers* e *paleoplacers*; a lateritos; a granitos e a fosforitos nas rochas sedimentares. Os principais depósitos estão localizados em Mountain Pass (EUA), em Baotou (China), na Rússia, na Austrália, na Índia, na Tailândia, no Sri Lanka e na África do Sul (LONG *et al.*, 2010). No Brasil, as principais ocorrências estão em Poços de Caldas, São Gonçalo do Sapucaí, Cordislândia, Silvianópolis, Pouso Alegre (MG); São Francisco do Itabapoana (RJ); Província Mineral de Pitinga (AM); Mato Preto (PR), Anitápolis (SC) e Catalão (GO).

No levantamento geoquímico, o elemento La não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,6 e 1413 ppm, média igual a 38,2 ppm, mediana igual a 13,7 ppm e *background* entre 0,1 e 0,7 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações entre 1,2 e 325 ppm, média igual a 18,4 ppm, mediana igual a 13,9 ppm e *background* entre 9,0 e 22,2 ppm.

Li - Lítio

O lítio é um metal alcalino, o mais leve que se tem conhecimento, pouco abundante, de coloração branco-prateada brilhante, possuindo alto potencial de oxidação e o calor específico mais alto dentre as substâncias sólidas. É instável, não existe livre na natureza, reage violentamente com a água (LiOH) e facilmente forma óxidos. Difere dos outros metais alcalinos por possuir raio iônico menor, consequentemente não os acompanha nos processos geológicos, ou seja, durante a diferenciação magmática é enriquecido apenas nos estágios pegmatíticos tardios (KOLJONEN, 1992). Ocorre nas rochas, principalmente nos silicatos. É liberado facilmente dos minerais primários em meios oxidantes e ácidos face ao intemperismo, sendo dominantemente incorporado aos argilominerais, coloides e óxidos/hidróxidos de Fe-Mn. O conteúdo do lítio no processo de formação de solos é controlado mais pelas próprias condições de formação do solo do que pelo conteúdo proveniente da rocha-fonte (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Seus principais minerais são: espodumênio ($LiAlSi_2O_6$), ambligonita [(Li,Na)Al(PO_4)(F,OH)], lepidolita [$KLi_2Al(Al,Si)_3O_{10}(F,OH)_2$], petalita ($LiAlSi_4O_{10}$), montebrasita [LiAl($PO_4$)(OH)] e zinnwaldita (KLiFeAl($AlSi_3$) $O_{10}(F,OH)_2$). Usado principalmente como composto para baterias, levando vantagem sobre as de Ni e Cd por armazenar até três vezes mais energia, na transferência de calor, em lubrificantes, na síntese de compostos orgânicos e depurador de ar em naves espaciais e submarinos, bem como em aplicações nucleares. É um poderoso analgésico, sendo também usado no tratamento da depressão bipolar. Os compostos desse metal são considerados levemente tóxicos, sendo alguns deles carcinogênicos e teratogênicos. Não apresenta papel importante conhecido até o momento nos processos biológicos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Possui mobilidade moderadamente alta nos ambientes oxidantes e redutores. Encontrado em depósitos de sistemas endomagmáticos hidrotermais relacionados a corpos pegmatíticos. Em evaporitos, com ambientes de formação de margem marinha e lagos intracontinentais (BIONDI *et. al.*, 2007). As principais jazidas estão localizadas na Bolívia, no Chile, nos EUA, no Canadá, no Brasil, na China, na Austrália e Zimbábue. No Brasil, o lítio é encontrado nas províncias pegmatíticas do Vale do Jequitinhonha e Mucuri, em MG, e na Província Borborema, no RN-PB-CE.

No levantamento geoquímico, o elemento Li foi detectado em 26% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,001 e 0,629 mg/L, e

média, mediana igual a <0,001 mg/L e *background* entre <0,001 e 0,001 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 66% das amostras, com concentrações entre <1 e 42 ppm, média igual a 4 ppm, mediana igual a 2 ppm e *background* entre <1 e 6 ppm. No solo, foi detectado em 86% das amostras, com concentrações variando entre <1 e 39 ppm, média igual a 4 ppm, mediana igual a 2 ppm e *background* entre 2 e 6 ppm.

Mg - Magnésio

O magnésio é um metal alcalino-terroso, prateado, que se oxida em contato com o ar e é o oitavo elemento mais abundante na crosta. É fortemente enriquecido na crosta inferior e manto, sendo comum em rochas máficas e ultramáficas. O Mg possui grande influência sobre o comportamento geoquímico do Fe, Ni, Co, Sc, Zn e Li em virtude de sua fácil substituição por esses elementos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Os minerais de Mg intemperizam-se facilmente por dissolução. Nos evaporitos, os sais de magnésio são cristalizados no estágio final, após a cristalização do sal comum (KOLJONEN, 1992). Ocorre como magnesita $MgCO_3$, carnalita ($KMgCl_3.6H_2O$) e bischofita ($MgCl_2.6H2O$) (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Está presente também em diversos minerais: silicatos, como a olivina [$(Mg,Fe)_2.SiO_4$], carbonatos, como a magnesita ($MgCO_3$) e dolomita [$CaMg(CO_3)_2$], e óxidos, como a magnésia (MgO). Suas associações metalogenéticas comuns são com Ti-V nas rochas máficas e Cr-Ni-Co em ultramáficas (LOPES JUNIOR, 2007). O óxido de magnésio e seus compostos são utilizados em lâmpadas (*flashes*), pirotecnia, indústria aeronáutica e bélica, através de ligas com o Al, bem como na agricultura. Na medicina, o óxido de magnésio é utilizado para aliviar a dor de estômago, como antiácido e como laxante de curto prazo. Seus sais são amplamente usados em fármacos, e como revestimento de tijolos refratários (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). No corpo humano é um nutriente não tóxico. É, também, um importante constituinte da clorofila. Alguns compostos, entretanto, são tóxicos, e os asbestos (minerais do grupo das serpentinas) são considerados carcinogênicos. Sua deficiência no organismo humano pode causar distúrbios neurológicos e uma ligeira calcificação. O ser humano necessita consumir cerca de 0,3 g de Mg por dia (KOLJONEN, 1992). Tanto em ambiente oxidante (pH<4 e pH 5-8), quanto em ambiente redutor, sua mobilidade é moderadamente alta (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Ocorre em lentes de magnesita em sedimentos marinhos de plataforma, em alguns casos associado à atividade intrusiva de material magmático tipo "*Veitsch*"; depósitos em veios e *stockworks* tipo "*Kraubath*"; alteração de rochas ultramáficas a partir de soluções hidrotermais carbonatadas tipo "*Greiner*"; magnesita lentiforme dentro de sedimentos lacustrinos clásticos tipo "*Bela Stena*" (LUZ; LINS, 2008). As principais jazidas estão localizadas na China, na Rússia, na Coreia do Norte, no Brasil, na Austrália, na Turquia e na Eslováquia (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). No Brasil, as principais reservas estão na Bahia (Brumado) e no Ceará.

No levantamento geoquímico, o elemento Mg foi detectado em 100% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,01 e 1.120,00 mg/L, média igual a 12,01 mg/L, mediana igual a 2,27 mg/L e *background* entre 1,29 e 3,72 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 92% das amostras, com concentrações variando entre <0,01 e 0,97%, média igual a 0,10 %, mediana igual a 0,05 % e *background* entre 0,02 e 0,14%. No solo, foi detectado em 90% das amostras, com concentrações variando entre <0,01 e 1,70%, média igual a 0,07%, mediana igual a 0,04% e *background* entre 0,02 e 0,06%.

Mn - Manganês

O manganês é um metal de transição, relativamente abundante na crosta, de cor branco-acinzentada, frágil, refratário, facilmente oxidável e não é encontrado livre na natureza. Suas altas concentrações são associadas às rochas máficas, onde é particionado entre os silicatos ferromagnesianos e óxido de Fe e Ti. Durante os processos magmáticos, o íon Mn^{+2} substitui facilmente os íons Fe^{+2}, Mg^{+2} e Ca^{+2}, existindo uma forte correlação na maioria das rochas ígneas do Mn^{+2} com o Fe^{+2}. O Mn pode ser remobilizado durante a atividade hidrotermal regional. Em processos intempéricos, os compostos de Mn são oxidados, liberados e reprecipitados (minerais secundários) em função das condições de Eh e pH (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É um constituinte comum nos minerais máficos e fêmicos (plagioclásio). Existem inúmeros minerais de Mn, destacando-se: pirolusita (MnO_2), rodocrosita ($MnCO_3$) psilomelano [$(Ba,H_2O)_2Mn_5O_{10}$], criptomelana (KMn_8O_{16}), haussmannita (Mn_2O_4), todorokita [$(Na,Ca,K,Ba,Sr).(Mn,Mg,Al)_6O_{12}.4(H_2O)$], manganita [MnO(OH)] e braunita ($Mn_6O_8.SiO_4$). Alguns nódulos encontrados no assoalho oceânico podem conter em torno de 24% de Mn. É utilizado, principalmente, na produção de ligas de aço (pela capacidade de endurecer o aço sem torná-lo mais frágil), na produção

de pilhas e para coloração de vidros. Desempenha papel fundamental nos processos fotossintéticos de produção de O_2. O manganês é um oligoelemento não tóxico, essencial para todas as formas de vida, nas quais tem funções tanto estruturais quanto enzimáticas e é importante na fixação da vitamina B1. Se inalado em quantidades excessivas, pode causar danos neurológicos irreversíveis (LOPES JUNIOR, 2007; KOLJONEN, 1992). Em ambiente oxidante com pH<4, é imóvel. Com pH entre 5-8, torna-se ligeiramente móvel a imóvel e, em ambiente redutor, é imóvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Encontrado em veios epigenéticos de Mn em calcários e dolomitos relacionados às intrusões porfiríticas; Mn vulcanogênico; Mn epitermal relacionado às vulcânicas félsicas a máficas subaéreas; Mn sedimentar relacionado aos sedimentos químicos e aos processos supergênicos (laterítico). As principais jazidas estão localizadas na China, na Austrália, na África do Sul, na Índia, no Gabão, no Brasil, no Ucrânia, no México, na Rússia, na Geórgia e na Gana (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). No Brasil, tem-se os depósitos do Azul (Província Mineral de Carajás – PA), de Corumbá-MS, Mariana e Conselheiro Lafaiete-MG e de Caetité-BA (DNPM, 2010).

No levantamento geoquímico, o elemento Mn foi detectado em 87% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,002 e 3,38 mg/L, média igual a 0,064 mg/L, mediana igual a 0,035 mg/L e *background* entre 0,019 e 0,070 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações entre 16 e >10.000 ppm, média igual a 524 ppm, mediana igual a 366 ppm e *background* entre 210 e 643 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 28 e 5.192 ppm, média igual a 381 ppm, mediana igual a 258 ppm e *background* entre 143 e 436 ppm.

Mo - Molibdênio

O molibdênio é um metal de transição de coloração branco-prateada, resistente à corrosão, com alto ponto de fusão, bom condutor de eletricidade e calor, não sendo encontrado livre na natureza. Nos processos geológicos, assemelha-se ao tungstênio (W), sendo mais facilmente particionado com este (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Durante o fracionamento magmático, comporta-se como elemento incompatível nos estágios iniciais, tornando-se enriquecido em fases tardias nos granitos, pegmatitos e soluções hidrotermais (KOLJONEN, 1992). No intemperismo, os sulfetos com Mo são lentamente oxidados produzindo MoO_4^{-2} (em pH neutro a moderadamente alcalino) e $HMoO_4^-$ (valores de pH baixo) (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Seu principal mineral, a molibdenita, é um resistato, embora maleável, de cor prata e pouco solúvel em meio ácido. Ocorre, principalmente, como molibdenita (MoS_2), powellita [$Ca(MoW)O_4$] e wulffenita [$Pb(MoO_4)$]. É usado em ligas metálicas de alta dureza e resistência mecânica; em peças de mísseis, aeronaves e de uso nuclear; catalisadores na indústria petroquímica; filamentos para a indústria elétrica e lubrificantes resistentes a altas temperaturas. É um micronutriente essencial, porém moderadamente tóxico (KOLJONEN, 1992). Ao lado do F e do Se, faz parte do grupo de elementos que possuem estreita margem entre concentrações essenciais e tóxicas (LOPES JUNIOR, 2007). É imóvel em condições oxidantes (com pH<4 e na presença de limonita) e em condições redutoras (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Os depósitos estão relacionados às intrusões porfiríticas de Mo "do tipo *climax*", Cu-Mo pórfiros e Mo pórfiros (LICHT; MELLO; SILVA, 2007); e depósitos do subsistema hidrotermal plutônico apical disseminado do tipo "*greisens*" com W-Mo (BIONDI *et. al.*, 2007). As principais jazidas estão localizadas nos EUA, na China, no Chile, no Canadá, no Peru, no México, na Mongólia e na Rússia (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). No Brasil, o molibdênio ocorre em rochas calcissilicáticas, ocasionalmente extraído como subproduto da scheelita na Província Scheelitífera do Seridó, nos estados do RN e PB (DNPM, 2010).

No levantamento geoquímico, o elemento Mo foi detectado em 3% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,007 e 0,940 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,007 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 93% das amostras, com concentrações variando entre <0,05 e 14,86 ppm, média igual a 0,62 ppm, mediana igual a 0,43 ppm e *background* entre 0,23 e 0,74 ppm. No solo, foi detectado em 97% das amostras, com concentrações variando entre <0,05 e 4,75 ppm, média igual a 0,84 ppm, mediana igual a 0,63 ppm e *background* entre 0,39 e 1,08 ppm.

N - Nitrogênio

O nitrogênio (do grego *nitrogenium*) é um elemento não metálico, que forma os compostos N_2, um gás inerte, incolor, inodoro, insípido, que possui alta eletronegatividade, e compõe 78% de nossa atmosfera; o nitrato (NO_3^-), um ânion que ocorre nas águas superficiais, subterrâneas e em efluentes domésticos e industriais; o nitrito (NO_2^-), ânion intermediário que se forma a partir da oxidação da amônia e da redução do nitrato; a amônia (NH_3^-) é um composto presente naturalmente nas águas superficiais e subterrâneas,

facilmente adsorvida por partículas finas do solo; e o nitrogênio orgânico, que ocorre em proteínas e peptídeos, ácidos nucléicos e ureia. Conhecido desde a antiguidade, onde formava a "água-régia" dos alquimistas, é um elemento de extrema importância para a vida vegetal, sendo sua transferência entre as plantas e o solo conhecida como o "ciclo do nitrogênio". É utilizado em diversas aplicações, como na fabricação de aço inoxidável, criogenia, explosivos, combustível de foguetes e medicina nuclear, além de funcionar como fertilizante associado ao carbono e ao fósforo e em nitratos de cálcio, amônia e ureia. A destilação fracionada do ar liquefeito é o principal meio de produção do nitrogênio, como subproduto da produção do oxigênio. Devido à sua baixa reatividade, as plantas necessitam que ele seja decomposto por alguma bactéria para ser consumido por suas raízes.

No levantamento geoquímico, o nitrito foi detectado em 14% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,01 e 0,94 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,01 mg/L. O nitrato foi detectado em 76% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,01 e 446,82 mg/L, média igual a 2,40 mg/L, mediana igual a 0,44 mg/L e *background* entre 0,03 e 1,69 mg/L. No sedimento de fundo e solo, o elemento não foi analisado.

Na - Sódio

O sódio (do latim – *natrium*) é um metal alcalino, intensamente reativo, de cor prateada a branca, sendo encontrado na natureza apenas quando combinado com outros elementos. Com o cloro forma um dos mais importantes alimentos naturais, o sal (NaCl), usado desde tempos pré-históricos. Nas rochas, encontra-se nos silicatos, sobretudo nos feldspatos, cuja composição varia de cálcica para sódica durante a diferenciação magmática (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Assim, as rochas máficas, empobrecidas em sílica, contêm mais cálcio, enquanto as rochas félsicas, ricas em sílica, contêm mais sódio (KOLJONEN,1992). Apresenta-se em pequenas quantidades nos sedimentos arenosos, mesmo contendo algum feldspato, mas é o sétimo elemento mais abundante da crosta. Durante o intemperismo, o sódio é dissolvido dos feldspatos e removido para os rios e mares, sendo responsável pelo aumento da salinidade da água (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Seus principais minerais são: os sais de evaporitos, tais como a halita (NaCl), bórax ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), mirabilita ($Na_2SO_4.10H_2O$), thenardita (Na_2SO_4), soda ($Na_2CO_3.10H_2O$) e trona ($Na_3HCO_3CO_3.2H_2O$) (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É usado, principalmente, como condimento alimentar, além de diversos produtos como soda cáustica (NaOH); hipoclorito de sódio (NaClO), usado para purificação e desinfecção de água; produtos para panificação (bicarbonato de sódio – $NaHCO_3$); produção de vidro; fabricação do sabão; na indústria têxtil e química (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É um elemento vital, não tóxico, sendo importante na dieta alimentar humana, para o equilíbrio das soluções celulares e de algumas funções das células nervosas. Os sais de sódio são geralmente inofensivos, como o NaCl ("sal de cozinha"), mas não podem ser ingeridos em excesso, principalmente por pessoas com problemas cardíacos, porque eleva a pressão arterial (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Tanto em ambiente oxidante quanto em redutor, o Na se comporta com mobilidade moderadamente alta (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Os depósitos são de sal marinho (cloreto de sódio) e associado a sequências evaporíticas, tendo como principal mineral-minério a trona, que é usada para obtenção do carbonato de sódio. Os principais produtores de NaCl são: EUA, China, Alemanha, Índia, Canadá, Austrália, México, Brasil e Chile (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). O maior depósito de trona conhecido no mundo localiza-se próximo a Green River (Wyoming-EUA). No Brasil, existe produção de sal marinho em superfície principalmente no Rio Grande do Norte e Rio de Janeiro. Em Alagoas, existe produção de NaCl para fins industriais, sendo retirado de mina subterrânea.

No levantamento geoquímico, o elemento Na foi detectado em 100% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,01 e 10.098,00 mg/L, média igual a 76,41 mg/L, mediana igual a 3,67 mg/L e *background* entre 2,09 e 6,37 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 29% das amostras, com concentrações variando entre <0,01 e 1,01%, média e mediana igual a <0,01% e *background* entre <0,01 e 0,01%. No solo, foi detectado em 4% das amostras, com concentrações variando entre <0,01 e 0,07%, e média, mediana e *background* igual a <0,01%.

Nb - Nióbio

O nióbio é um metal de transição de cor branca brilhante, maleável, dúctil e com boa resistência à corrosão. A maioria dos compostos de Nb é solúvel em meios ácidos e alcalinos; durante o intemperismo, sua dissolução é muito dependente dos minerais hospedeiros, por isso, o Nb pode ser liberado de minerais máficos (biotita, anfibólio) ou permanecer

em minerais resistatos (titanita, zircônio). É móvel em condições úmidas, apresentando propriedades químicas semelhantes às do tântalo, por isso é difícil separação entre ambos, além de associações com Fe, Ti e Zr (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Forma uma série mineral que varia da columbita (Nb predominante) até tantalita (Ta predominante). A columbita (mineral com 30% de Nb_2O_5 e 3,0% de Ta_2O_5) consiste em niobato e tantalato de ferro e manganês, no qual a porcentagem de nióbio é maior do que a de tântalo. Quando o Ta se sobrepõe ao Nb, o mineral passa a chamar-se tantalita. Pode ocorrer, ainda, como pirocloro [$(Na,Ca)_2Nb_2O_6(OH,F)$], samarskita (óxido complexo de ETR, U, Fe, Ti, Sn, Nb e Ta), loparita [$(Ce,Na,Ca)(Ti,Nb)O_3$], fergusonita (óxido complexo de Nb e ETR), euxenita [$(Y,Ca,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti)_2O_6$] e tapiolita $(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$ (RANKAMA; SAHAMA, 1954). Usado, principalmente, em aços inoxidáveis e ligas de metais não ferrosos; na indústria nuclear; na indústria aeronáutica (produção de motores a jato e equipamentos para foguetes); como nitreto de nióbio (NbN), em baixas temperaturas, transforma-se em um supercondutor; e na produção de joiase superligas. Outros compostos, como o carboneto de nióbio (NbC), constituem material extremamente duro, refratário, sendo utilizado nos *bits* (extremidade cortante de brocas) no setor de ferramentas. Algumas ligas de nióbio são fisiologicamente inertes e com características hipoalergênicas. Por esses motivos, é encontrado em muitos dispositivos médicos, como o marca-passo. Não é conhecido, até o momento, o papel que desempenha nos processos vitais e seus compostos são considerados tóxicos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Em relação à mobilidade, é imóvel em condições oxidantes (pH 5-8) e, redutoras (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Os depósitos estão relacionados às rochas alcalinas (LICHT; MELLO; SILVA, 2007; BIONDI *et.al.*, 2007), pirocloro em carbonatitos, depósito tipo "Araxá" (BIONDI, 2003). As principais jazidas estão localizadas no Brasil (98,4% da produção mundial) e no Canadá (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2011). As principais reservas encontram-se em Minas Gerais (83,6%), localizadas no Complexo Alcalino de Araxá e no município de Nazareno; em Goiás, (15,3%) nos municípios de Catalão e Ouvidor; e no Amazonas (1,1%), nos municípios de São Gabriel da Cachoeira e Presidente Figueiredo (BIONDI, 2003).

No levantamento geoquímico, o elemento Nb não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,09 e 33,89 ppm, média igual a 1,48 ppm, mediana igual a 1,01 ppm e *background* entre 0,54 e 1,66 ppm. No solo, foi encontrado em 100% das amostras, com concentração variando entre 0,07 e 21,40 ppm, média igual a 1,58 ppm, mediana igual a 1,24 ppm e *background* entre 0,81 e 2,00 ppm.

Ni – Níquel

O níquel é um metal prateado, considerado siderófilo, por estar associado ao Fe, e calcófilo, por sua grande afinidade com o enxofre. Durante o intemperismo, o íon Ni^{+2} é facilmente mobilizado em soluções aquosas; sob condições oxidantes com pH<4, torna-se estável, podendo migrar por grandes distâncias. O íon Ni^{+2} possui raio atômico similar aos íons Mg^{+2} e Fe^{+2}, facilitando a substituição no fracionamento magmático, que o leva a ser fortemente enriquecido nas rochas ultramáficas. Geralmente, associa-se ao Co, Cu e Pt em depósitos sulfetados, em minerais como a pentlandita [$(NiFe)_9S_8$], milerita (NiS), violarita ($FeNi_2S_4$), nicolita ou niquelina (NiAs), garnierita [$(NiMg)_6(OH)_8Si_4O_{10}$] e heazlewoodita (Ni_3S_2). O mineral pirrotita (FeS) pode conter até 5% de Ni; os meteoritos de Fe, os sideritos, podem conter de 5 a 20% de Ni. É usado, principalmente, como componente em aços inoxidáveis (50% da produção total), ligas não ferrosas (20%) e eletrodeposição (15%) (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O níquel não tem papel biológico conhecido, mas acredita-se que participa de reações enzimáticas. Possui seu efeito deletério na saúde humana marcado por reações alérgicas, chegando até a causar câncer respiratório, irritação gastrointestinal, dermatite e malformações congênitas (KOLJONEN,1992). São encontrados como Ni-Cu em komatiítos; Ni-Cu em rochas máfico-ultramáficas; Ni-Cu em dunitos; Ni-Cu sinorogênico e sinvulcânico; processos superficiais - Ni laterítico (MINERAIS DO PARANÁ, 2005 ; KOLJONEN, 1992).As principais jazidas estão localizadas no Canadá, na Rússia, na África do Sul, na China, na Nova Caledônia, na Indonésia, na Austrália, na Papua Nova Guiné, na Guatemala, em Cuba, na Venezuela e no Brasil (Jaguar, Santa Rita, Onça-Puma, Vermelho, Jacaré-Jacarezinho, Niquelândia, Barro Alto, Americana do Brasil, Água Branca e São João do Piauí) (DNPM, 2010).

No levantamento geoquímico, o elemento Ni foi detectado em 1% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,002 e 0,090 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,002 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre <0,5 e 287,4 ppm, média igual

a 10,6 ppm, mediana igual a 7,2 ppm e *background* entre 4,1 e 7,2 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 1,3 e 66,5 ppm, média igual a 9,79 ppm, mediana igual a 7,15 ppm e *background* entre 4,2 e 12,2 ppm.

OD - Oxigênio Dissolvido

Oxigênio dissolvido é a concentração de oxigênio (O_2) contido na água, sendo essencial para todas as formas de vida aquática. Os sistemas aquáticos produzem e consomem o oxigênio, o qual é retirado da atmosfera na interface – água-ar e também é obtido como resultado de atividades fotossintéticas de algas e plantas. A quantidade de oxigênio presente na água em condições normais depende da temperatura, da quantidade de sais presentes e da pressão atmosférica. A solubilidade dos gases aumenta com a diminuição da temperatura e o aumento da salinidade. Portanto, águas mais frias retêm maior quantidade de oxigênio e águas salinas contêm menos oxigênio. A pressão relativa do ar e o grau de saturação do oxigênio alteram com a altitude, sendo que o oxigênio contido na água diminui com o aumento da altitude, devido ao decréscimo da pressão relativa. Por isso, equipamentos portáteis para medidas de OD em campo devem ser constantemente calibrados. As concentrações de OD, normalmente, são expressas em mg/L, ou registradas em porcentagem de saturação (quantidade de oxigênio contido em 1L de água relativo ao nível total de oxigênio que a água pode reter naquela temperatura). A determinação da concentração de OD é de fundamental importância na avaliação da qualidade das águas, uma vez que o oxigênio está envolvido praticamente em todos os processos químicos e biológicos. A descarga em excesso de material orgânico na água pode resultar no esgotamento de oxigênio do sistema. Exposições prolongadas a concentrações abaixo de 5mg/L podem não matar alguns organismos presentes, mas aumenta a susceptibilidade ao estresse. As exposições abaixo de 2 mg/L podem levar a maioria dos organismos à morte. A análise de OD em águas subterrâneas tem uso mais limitado como indicador de poluição. Sua medida torna-se mais necessária para o entendimento de processos químicos e bioquímicos que ocorrem nos aquíferos. As determinações de OD devem ser conduzidas preferencialmente *in situ*. Caso não seja possível, as amostras devem ser analisadas no máximo em até 8 horas após a coleta, desde que sejam devidamente preservadas em campo. Os níveis de OD têm variações sazonais e em períodos de 24h. Normalmente, em águas naturais e ao nível do mar, a concentração está em torno de 8mg/L a 25°C. A concentração de OD em lagoas e represas varia verticalmente na coluna de água, ao passo que em rios e riachos apresenta variações mais horizontais ao longo do curso das águas. Rios de grande profundidade podem apresentar alguma estratificação vertical do OD (SISTE, 2011).

No levantamento geoquímico, o oxigênio dissolvido foi medido em 98% das estações de coleta de água de drenagem e apresentou valores entre 0,00 e 28,06 mg/L, média igual a 7,57 mg/L, mediana igual a 7,52 mg/L e *background* entre 6,24 e 8,48 mg/L.

P – Fósforo e PO_4^- - Fosfato

O fósforo (do latim – *phosphorus*) é um elemento não metálico, semitransparente, fosforescente no escuro e que pega fogo espontaneamente quando exposto ao ar. O fósforo não é encontrado livre na natureza, mas ocorre largamente em muitos minerais na forma de fosfatos associados com o cálcio. Quando puro, é incolor, transparente e insolúvel em água. É enriquecido em rochas máficas durante a diferenciação magmática, cristalizando-se no início do processo. O principal mineral é a apatita [$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$], embora existam outros fosfatos, tais como, monazita [(CE, La, Nd, Th).(PO_4,SiO_4)] e xenotímio (YPO_4). Quando dissolvido pelo intemperismo, o P é retido por sedimentos ricos em matérias orgânicas e argilas, ou precipita formando minerais como wavelita [$Al_3(PO_4)_2(OH)_3.5H_2O$] e vivianita [$Fe_3(PO4)_2.8H_2O$]. Também é extraído de fosforitos, rochas sedimentares de origem marinha com alto teor de minerais fosfatados, principalmente a fluorapatita carbonatada microcristalina, na forma de lâminas, nódulos e oólitos, normalmente enriquecidos com urânio (KOLJONEN, 1992; MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É usado, principalmente, em fosfatos solúveis na indústria de fertilizantes, em ração animal e na indústria química (vidros especiais, tipos de aços contra corrosão, em tubulações e caldeiras) (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É um componente essencial para a vida (constituinte do RNA e DNA), e o fosfato de cálcio é o principal composto formador de ossos e dentes: hidroxiapatita [$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$] e fluorapatita [$Ca_5(PO_4)_3F$], respectivamente. Compõe o tecido nervoso e do protoplasma celular dos animais. Por outro lado, na sua forma elementar, é altamente tóxico (LOPES JUNIOR, 2007). Em condições oxidantes

com pH 5,0-8,0 e em ambiente redutor é ligeiramente móvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Proveniente de apatita em rochas alcalinas (carbonatitos), geralmente associadas a Nb e metais terras-raras e, também, em rochas sedimentares. As principais jazidas estão localizadas no Marrocos, na China, na Jordânia, nos EUA e na África do Sul. No Brasil, as reservas de fosfato encontram-se, principalmente, em rochas ígneas, cujo custo de produção é maior do que nas rochas sedimentares (maioria das reservas mundiais). As principais jazidas estão em Tapira, Patos de Minas e Araxá-MG, Catalão-GO e Cajati-SP (DNPM, 2010).

No levantamento geoquímico, o fosfato foi detectado em 30% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,01 e 18,50 mg/L, média e mediana igual a <0,01 mg/L e *background* entre <0,01 e 0,06 mg/L. No sedimento de fundo, o elemento P foi detectado em 81% das amostras, com concentrações variando entre <50 a >10.000 ppm, média igual a 316 ppm, mediana igual a 196 ppm e *background* entre 69 e 406 ppm. No solo, foi detectado em 97% das amostras de solos, com concentrações variando entre <50 e 3.339 ppm, média igual a 291 ppm, mediana igual a 202 ppm e *background* entre 113 e 338 ppm.

Pb - Chumbo

O chumbo (do latim – *plumbum*) é um metal pesado de cor branco-azulada, maleável, dúctil, resistente à corrosão e fraco condutor de eletricidade. Fortemente calcófilo, o Pb^{+2} possui raio iônico intermediário entre o K^{+} e o Ca^{+2}, ocorrendo substituições nos feldspatos, micas e apatitas, tornando-se mais enriquecido nas rochas ácidas do que nas básicas e móvel nos estágios finais dos processos magmáticos. O minério é formado, principalmente, por soluções hidrotermais. Ressalta-se que parte do chumbo na natureza tem sido formada pelo decaimento radioativo do urânio e tório (MINERAIS DO PARANÁ, 2005; KOLJONEN, 1992). Os principais minerais são galena (PbS), anglesita ($PbSO_4$), cerusita ($PbCO_3$) e os menos comuns bournonita ($PbCuSbS_3$), jamesonita ($Pb_4FeSb_6S_{14}$) e wulfenita ($PbMoO_4$). É usado, principalmente, como ligas metálicas, baterias automotivas, fusíveis, revestimentos de cabos elétricos, pigmento de tinta e em revestimentos protetores de raios X. Como não é elemento essencial na nutrição e não faz parte do metabolismo humano, é perigoso quando presente em excesso no meio ambiente e, geralmente, fixa-se na porção mais superior do solo (KOLJONEN, 1992; KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). O Pb, quando absorvido, pode se acumular nos ossos, fígado e rins (tecidos ricos em Ca) (MINERAIS DO PARANÁ, 2005), podendo afetar todos os órgãos internos do corpo humano e causar danos irreversíveis ao cérebro (saturnismo), não importando se a contaminação ocorreu por ingestão, contato dermal ou inalação. Apesar de ser intrinsecamente tóxico, a maior parte do Pb ingerido passa pelo organismo sem ser absorvido (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Em ambiente oxidante com pH 5-8, comporta-se como ligeiramente móvel e, em ambiente redutor, é imóvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). É encontrado em skarnitos com Pb e Zn relacionados às intrusões porfiríticas; depósitos relacionados às rochas sedimentares clásticas (I) tipo Pb e Zn em arenitos e (II) Zn e Pb *"tipo SEDEX"*; Pb e Zn do *"tipo Mississipy Valley"* e Cu-Pb-Zn do *"tipo Kipushi"* (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). As principais jazidas estão localizadas na Austrália, na China, na Rússia, nos EUA, no México, no Peru e na Índia (USG UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY S, 2011). A principal produção de concentrado de Pb, no Brasil, é proveniente da Mina do Morro Agudo, em Paracatu-MG (DNPM, 2010).

No levantamento geoquímico, o elemento Pb foi detectado em 6% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,002 e 0,057 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,002 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,8 e 569,5 ppm, média igual a 10,0 ppm, mediana igual a 6,7 ppm e *background* entre 4,2 e 11,2 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 2,8 e 67,9 ppm, média igual a 12,5 ppm, mediana igual a 10,2 ppm e *background* entre 7,5 e 14,3 ppm.

Pd - Paládio

O paládio faz parte de um grupo de elementos de comportamento químico muito semelhante denominado de platinóides, compostos por Pt, Ir, Os, Rh e Ru. É o menos denso dos elementos, possui coloração prateada-clara, é dúctil, maleável, apresenta pouca reatividade e possui notável capacidade de absorção de hidrogênio. Os principais depósitos de paládio são formados por processos magmáticos de alta temperatura e estão associados às rochas ígneas máficas e ultramáficas e a depósitos de níquel e cobre. Por sua alta resistência ao intemperismo e densidade, é encontrado também em depósitos secundários aluvionares e em lateritas (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, 2009). Na natureza, o paládio é encontrado tanto em sulfetos de metais básicos como pirrotita, calcopirita

e petlantida, como em alguns minerais específicos e raros como bragita ((Pt,Pd)S), estilwaterita (Pd_8As_3), genkinita ($(Pt,Pd,Rh)_4Sb_3$), estibiopaladinita (Pd_5Sb_2), sudberita ((Pd,Ni)Sb), froodita ($PdBi_2$), kotulskita (PdTe), merenskiita ($(Pd,Pt)(Te,Bi)_2$), Michenerita (Pd(Bi,Sb)Te) e moncheita ($(Pt,Pd)(Te,Bi)_2$). Raramente, ocorre em estado nativo, e, quando ocorre, é na forma de ligas com os outros metais do grupo e, mais raramente, com estanho ($(Pd,Pt)_3Sn$ – atokita e $(Pt,Pd)_3Sn$ – rustenburgita) e mercúrio (PdHg). É usado em ligas metálicas de circuitos condutores, catalisadores, revestimentos, na fabricação do "ouro branco" utilizado na joalheria, no setor odontológico e como *commodity* no mercado financeiro. Apesar de não ser considerado um elemento tóxico, o contato com seus sais pode afetar a saúde, causando câncer, reações alérgicas e danos em órgãos como intestinos, rins e medula. Tanto em ambiente oxidante quanto em redutor, o Pd comporta-se como elemento imóvel. As maiores jazidas de minerais do grupo da platina podem ser divididas em dois tipos, as de minério disseminado e aquelas onde é encontrada como subproduto em depósitos de cobre-níquel. As reservas de Pt disseminada podem ser dos tipos: *Merensky*, Cromititos, de contato e de chaminés de dunitos. As reservas com níquel e cobre dominantes são dos tipos: crateras de impacto de meteoritos, separação continental e de komatiitos (ZIENTEK, 2014). As maiores reservas encontram-se no Complexo de Bushveld, na África do Sul, que contêm 90% de todos os recursos de platina e paládio mundiais. No Brasil, as reservas estão em MG, como subproduto do Au, que é recuperado, por sua vez, como subproduto da lavra de Fe. Ocorrem nos carbonatitos de Catalão e Ipanema, em Goiás, e na jazida de Serra Pelada, o famoso "ouro paladiado", de aspecto cinzento como uma palha de aço.

No levantamento geoquímico, o elemento Pd não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 1% das amostras, com concentrações variando entre <0,05 e 1,30 ppm, e média, mediana e *background* igual a <0,05 ppm. No solo, foi detectado em 1% das amostras, com concentrações variando entre <0,05 e 0,20 ppm, e média, mediana e *background* igual a <0,05 ppm.

pH - Potencial Hidrogeniônico

O pH representa a atividade do íon hidrogênio na água, de forma logaritmizada, resultante inicialmente da dissociação da própria molécula da água e posteriormente acrescida pelo hidrogênio de outras fontes, como de efluentes industriais. Por influir em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos antropogênicos, o pH é um parâmetro importante em estudos geoquímicos e varia de acordo com a temperatura e a composição mineral do corpo d'água. A escala logarítmica do pH compreende valores de 0 a 14, sendo que o 7 é considerado o valor neutro. O valor 0 representa a acidez máxima e o valor 14 a alcalinidade máxima. A influência do pH sobre ecossistemas aquáticos naturais acontece devido aos efeitos sobre a dissolução de elementos químicos tóxicos, como metais pesados, em valores de pH ácido. Esse parâmetro pode exercer, também, efeitos sobre a solubilidade de nutrientes. A condição de pH que corresponde à formação de um ecossistema mais diversificado é o da neutralidade, tanto nos ambientes aeróbios, como nos anaeróbios. A alcalinidade indica a quantidade de íons presentes na água que reagem para neutralizar os íons hidrogênio. Constitui-se, portanto, em medir a capacidade de a água neutralizar os ácidos, servindo para expressar a capacidade de resistir à mudança de pH. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos (HCO_3), carbonatos (CO_3) e hidróxidos (OH^-). Verifica-se que na maior parte dos ambientes aquáticos a alcalinidade é devida exclusivamente à presença de bicarbonatos. Valores elevados de alcalinidade estão associados aos processos de decomposição da matéria orgânica e à alta taxa respiratória de microrganismos, com liberação e dissolução de gás carbônico (CO_2) na água. A maioria das águas naturais apresenta valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg/L de $CaCO_3$, unidade usada para expressar esse parâmetro. A origem antropogênica da alcalinidade em águas naturais são os despejos domésticos e industriais nos corpos d'água, o que confere sabor amargo às águas.

No levantamento geoquímico, o potencial hidrogeniônico foi medido em 98% das estações de coleta de água de drenagem e apresentou valores entre 1,66 e 10,09, média igual a 6,92, mediana igual a 6,96 e *background* entre 6,57 a 7,32.

Pt - Platina

A platina é um elemento de um grupo com comportamento químico muito semelhante denominado de platinóides, composto por Pd, Ir, Os, Rh e Ru. É o mais denso dos elementos, possui coloração prateada-clara, é dúctil, maleável, apresenta pouca reatividade e possui extraordinária resistência à corrosão. Os principais depósitos de platina são formados por processos

magmáticos de alta temperatura e estão associados ás rochas ígneas máficas e ultramáficas e aos depósitos de níquel e cobre. Por sua alta resistência ao intemperismo e densidade, é encontrada também em depósitos secundários aluvionares e em lateritas (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, 2009). Na natureza a platina é encontrada tanto em sulfetos de metais básicos, como pirrotita, calcopirita e petlantida, e em alguns minerais específicos e raros como bragita ((Pt,Pd)S), cooperita (PtS), esperrilita ($PtAs_2$), genkinita ($(Pt,Pd,Rh)_4Sb_3$), sudberita ((Pd,Ni)Sb), geversita ($Pt(Sb,Bi)_2$), merenskiita ($(Pd,Pt)(Te,Bi)_2$) e moncheita ($(Pt,Pd)(Te,Bi)_2$). Raramente, ocorre em estado nativo, e, quando ocorre, o faz na forma de ligas com os outros metais do grupo e, mais raramente, com ferro (Isoferroplatinum – Pt_3Fe), estanho ($(Pd,Pt)_3Sn$ – atokita e $(Pt,Pd)_3Sn$ – rustenburgita) e cobre (Pt_2FeCu – tulameenita). É usada, principalmente, como catalisador e nos setores de joalheria, instrumentação cirúrgica e laboratorial e quimioterapia, vidraçaria, refino do petróleo e como *commodity* no mercado financeiro. Apesar de não ser considerado um elemento tóxico, o contato com seus sais pode afetar a saúde, causando câncer, reações alérgicas e danos em órgãos, como intestinos, rins e medula. Tanto em ambiente oxidante quanto em redutor, a Pt comporta-se como elemento imóvel. As maiores jazidas de minerais do grupo da platina podem ser divididas em dois tipos, as de minério disseminado e aquelas onde é encontrada como subproduto em depósitos de cobre-níquel (ZIENTEK, 2014). As reservas de Pt disseminada podem ser dos tipos: *Merensky*, Cromititos, de contato e de chaminés de dunitos. As reservas com níquel e cobre dominantes são dos tipos: crateras de impacto de meteoritos, separação continental e de komatiitos. As maiores reservas encontram-se no Complexo de Bushveld, na África do Sul, que contém 90% de todos os recursos platiníferos mundiais. No Brasil, as reservas estão em MG, como subproduto do Au que é recuperado por sua vez como subproduto da lavra de Fe. Ocorrem nos carbonatitos de Catalão e Ipanema, em Goiás, e na jazida de Serra Pelada, no Pará.

No levantamento geoquímico, o elemento Pt não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 0,5% das amostras, com concentrações variando entre <0,05 e 0,50 ppm, e média, mediana e *background* igual a <0,05 ppm. No solo, não foi detectada a presença do elemento e todas as análises apresentaram resultados abaixo do limite de detecção do método analítico.

Rb - Rubídio

O rubídio não é um elemento muito abundante na crosta terrestre, porém como seu raio iônico é muito similar ao do potássio, substitui-o parcialmente nas suas espécies minerais, onde aparece como impureza. É um metal alcalino, coloração branco-prateada brilhante, temperatura de fusão <40ºC, eletropositivo e muito reativo e elevada volatilidade. É encontrado em diversos minerais como a lepidolita, leucita, polucita e zinwaldita. É utilizado, principalmente, na fabricação de cristais especiais para sistemas de telecomunicação de fibra ótica e na fabricação de vidros especiais; motores iônicos em veículos espaciais, como componente de fotocélula; junto com o cério, em relógios atômicos e na fabricação de fogos de artifícios. Possui isótopo radioativo ^{87}Rb, fazendo par com o Sr ($^{87}Rb/^{87}Sr$), utilizado para estabelecer idades convencionais em rochas para eventos de magmatismos e metamorfismos. O rubídio não apresenta um papel biológico importante conhecido, sendo considerado atóxico. Pode se acumular no organismo, junto ao K, nos músculos (MINERAIS DO PARANÁ, 2005) e no corpo; quando substitui o K (em grandes quantidades), pode causar irritabilidade e espasmos (WINTER, 1998). É ligeiramente móvel em condições oxidante e redutora (ANDREWS-JONES, 1968 e ROSE; HAWKES; WEBB, 1979). A proveniência está relacionada aos depósitos hidrotermais plutônicos (BIONDI, 2003); em pegmatitos zonados, onde é encontrado na quantidade de traços nos retículos dos feldspatos e micas (lepodolita e pollucita); em depósitos sedimentares marinhos, relacionados aos evaporitos; e às salmouras. As principais jazidas estão localizadas no Afeganistão, na Namíbia, no Peru, na Rússia e na Zâmbia (pegmatitos); na França, na Alemanha e nos EUA (evaporitos); no Chile e na China (em salmouras) (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011).

No levantamento geoquímico, o elemento Rb não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 99% das amostras, com concentrações variando entre <0,2 e 135,0 ppm, média igual a 12,3 ppm, mediana igual a 4,1 ppm e *background* entre 1,9 e 16,7 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,3 e 131,0 ppm, média igual a 9,6 ppm, mediana igual a 3,7 ppm e *background* entre 1,7 e 8,9 ppm.

Re - Rênio

O rênio é um elemento metálico, de coloração prateada-clara, com ponto de fusão extremamente

elevado (3.180Cº) e com uma estrutura cristalina extremamente estável, o que o torna excepcionalmente resistente ao calor e ao desgaste. É um dos mais raros elementos e foi o último elemento estável descoberto (1925), apesar de ter sido previsto por Mendeleev em 1871 (VULCAN, 2005). Elemento siderófilo, precipita-se em fases magmáticas tardias, principalmente junto da molibdenita contida em depósitos de *Porphyry Copper***,** ou em camadas de origem sedimentar junto com o cobre, no Cazaquistão (*sandstone type*) e na Polônia (*copper schist type*). Pode ocorrer, ainda, em depósitos de urânio, em arenitos uraníferos no Cazaquistão. O rênio raramente ocorre como elemento nativo ou em seu próprio sulfeto, a rheniita (ReS_2), podendo substituir o molibdênio na molibidenita (MoS_2). A rheniita foi primeiramente descrita a partir de fumarolas do vulcão Kudriavy, na Rússia. A maior parte vai para a produção de superligas metálicas de molibdênio e níquel, usadas para a fabricação de turbinas de jatos devido à sua resistência ao calor. Também é usado como catalisador juntamente com a platina, em filamentos de lâmpadas e flashes e tubos usados em vários tratamentos médicos. Seu composto com boro é tão duro quanto o diamante e com a sílica forma *clusters* muito estáveis que poderão ser usados em computadores quânticos (JOHN, 2015). Tanto em ambiente oxidante quanto em redutor, o Re comporta-se como elemento imóvel. Pode causar irritações nos olhos, na pele e, se ingerido dissolvido em líquidos, pode causar irritação do trato respiratório. As propriedades toxicológicas ainda não estão bem definidas (ZIENTEK, 2014). É extraído como subproduto a partir da lavra de molibdênio e do cobre. O Chile contém as maiores reservas e é o maior produtor.

No levantamento geoquímico, o elemento Re não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 2 amostras, com concentrações variando entre <0,05 e 2,50 ppm, e média, mediana e *background* igual a <0,05 ppm. No solo, não foi detectada a presença do elemento e todas as análises apresentaram resultados abaixo do limite de detecção do método analítico.

S – Enxofre e Sulfato

O enxofre é o décimo sexto elemento em abundância na crosta terrestre. É um não metal, de coloração amarela, sólido a temperatura de 20°C, mal condutor de calor e eletricidade, inodoro e insolúvel em água. Elemento bastante comum na superfície da litosfera, ocorrendo em diversos minerais sob a forma de sulfetos e sulfatos, ou mesmo em sua forma pura, em regiões vulcânicas. Na forma nativa, é encontrado em fontes termais, zonas vulcânicas e em meteoritos. Também está presente, em pequenas quantidades, em combustíveis fósseis, como o carvão e o petróleo. Entre os minerais de sulfeto que contêm enxofre, podemos citar a galena, pirita, esfalerita e cinábrio, entre outros. É utilizado em vários processos industriais, como na produção de ácido sulfúrico, na fabricação de fósforos, adubos químicos e medicamentos laxantes, como componente da pólvora e vulcanização da borracha. Também é usado para branquear o papel e como conservante de bebidas alcoólicas. Nutriente essencial para todos os organismos vivos. É constituinte de algumas enzimas e vitaminas, neutraliza os tóxicos e ajuda o fígado na secreção da bílis. As plantas absorvem o enxofre dos solos como íon sulfato. No Brasil, parte do enxofre (35%) é obtido através do refino de petróleo e gás, sendo o restante proveniente da industrialização do Cu, Zn e Ni (DNPM, 2010), além do depósito de enxofre nativo de Castanhal em Sergipe (BIONDI, 2003). O íon sulfato é largamente distribuído na natureza. É a forma estável oxidada, prontamente solúvel em água, exceção aos sulfatos de chumbo ($PbSO_4$), bário ($BaSO_4$) e estrôncio ($SrSO_4$). O íon sulfato pode estar presente em águas naturais e em minerais, tais como, mirabilita, tenardita, barita, entre outros. Em águas naturais, a fonte de sulfato é a dissolução de minerais das rochas e dos solos e pela oxidação de sulfetos. O sulfato no ambiente origina-se da deposição atmosférica, dos aerossóis do oceano e da lixiviação de compostos de enxofre, de sulfetos ou de sulfatos minerais de rochas sedimentares. Os sulfatos anidros mais importantes e mais comuns são os do grupo da barita (alunita, anglesita, barita, brochantita, caledonita, celestita, glauberita, jarosita, linarita e thenardita). Entre os sulfatos hidratados, o gipso é o mais importante e abundante. Entre os principais sais de sulfatos pode-se citar: o sulfato de alumínio, usado para o tratamento de água, tratamento de efluentes, limpeza de piscina, manufatura de papel, decantação de partículas mais densas do que a água por ação da gravidade e ajuste do pH da água; o sulfato de cobre, muito utilizado nas indústrias química e farmacêutica e na agricultura; o sulfato ferroso, usado na medicina para tratamento de anemia; o sulfato de magnésio, utilizado na agricultura para corrigir deficiência de Mg nos solos; e o sulfato de cálcio (gesso), muito usado na

agricultura para calagem dos solos. Nas emissões aéreas de usinas termoelétricas, são originados do dióxido de enxofre exalados pelas chaminés. Experimentos com animais têm mostrado que os sulfatos são extremamente irritantes ao trato respiratório. O sulfato de cobre ($CuSO_4$) é um dos compostos mais utilizados como algicida e herbicida aplicados em reservatórios, lagos e em viveiros de peixes para controlar a floração de algas e o crescimento de organismos aquáticos indesejados. Os sulfatos são comuns nas descargas de esgotos domésticos e industriais. Nas águas tratadas para uso humano, o sulfato de alumínio é utilizado como coagulante. A presença de alto teor de sulfatos na água pode causar gosto amargo e provocar diarreia e desidratação tanto no homem quanto nos animais. Frequentemente, causam problemas de corrosão em encanamentos na rede coletora. É imóvel em condições ambientais redutoras (LEVINSON, 1974). A gipsita é um mineral abundante em diversos países e, no Brasil, dispõe de importantes reservas inseridas nas bacias sedimentares do Amazonas, do Tocantins, do Parnaíba, Potiguar, do Araripe e do Recôncavo, destacando-se, pelo volume e qualidade, os depósitos encontrados nos estados do Pará, Bahia e Pernambuco. Mesmo existindo jazidas de gipsita em nove estados do Brasil, as que apresentam as melhores condições de aproveitamento econômico (relação estéril/minério e infraestrutura) estão contidas na bacia sedimentar do Araripe, na divisa dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí. As maiores reservas de gipsita estão nos Estados Unidos da América, no Canadá, no Brasil e na Índia, porém a China é o maior produtor mundial e o Brasilda América do Sul.

No levantamento geoquímico, o sulfato foi detectado em 78% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,01 e 183,68 mg/L, média igual a 1,84, mediana igual a 0,51 mg/Le *background* entre 007 e 1,57mg/L. No sedimento de fundo, o elemento S foi detectado em 27% das amostras, com concentrações variando entre <0,01 e 2,25%, média e mediana igual a <0,01% e *background* entre <0,01 e 0,01%. No solo, foi detectado em 60% das amostras de solos, com concentrações variando entre <0,01 e 0,13 %, com média igual a 0,02%, mediana igual a 0,01% e *background* entre <0,01 e 0,02%.

Sb - Antimônio

O antimônio (do latim – *stibium*) é um semimetal de coloração branco-acinzentada, brilho metálico, mau condutor de calor e eletricidade, solúvel em água-régia, sendo por vezes encontrado livre na natureza. Do ponto de vista cristaloquímico e geoquímico, é semelhante ao As e, em parte, ao Bi (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Apresenta alta mobilidade no ambiente geoquímico supergênico devido a sua ocorrência em águas e carvões, além das associações com hidróxido de ferro (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O Sb não forma silicatos, possui forte tendência de se combinar com enxofre (calcófilo) e substitui o Fe nas olivinas e ilmenitas. O Sb é incorporado aos sedimentos de drenagem na forma de minerais sulfetados detríticos. Durante a diferenciação magmática, é enriquecido nas soluções hidrotermais e fixa-se nos sulfetos (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Tem como principais minerais a estibinita (Sb_2S_3), ulmanita (NiSbS), kermesita (Sb_2S_2O), valentinita (Sb_2O_3), stibiconita [$(Sb_3)O_6(OH)$] livingstonita ($HgSb_4S_8$), tetraedrita [$(Cu,Fe)_{12}Sb_4S_{13}$], calcostibita ($CuSbS_2$) e jamesonita ($Pb_4FeSb_6S_{14}$). É usado, principalmente, em ligas, junto com o Sn e Pb, na fabricação de placas para baterias e revestimentos de cabos; materiais retardadores de chama; semicondutores; indústria da borracha; pigmentos; fabricação de vidros; esmaltes; pinturas; cerâmicas e pequena parte para elaboração de fármacos (compostos injetáveis usados no tratamento da *leishmaniose*). O Sb não tem papel biológico conhecido e seus compostos são altamente tóxicos. Quando em excesso, provoca severos danos ao fígado (MINERAIS DO PARANÁ, 2005; KOLJONEN, 1992). Em ambiente oxidante e pH 5-8, a mobilidade é moderadamente alta e, em ambiente redutor, é imóvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Depósitos de Sb são raros e relacionados a: fluidos hidrotermais de baixa temperatura associados a Pb, Hg e Ag; depósitos de quartzo e estibinita associados às rochas vulcânicas félsicas a máficas subaéreas e relacionados às intrusões porfiríticas em rochas vulcânicas próximas a Cu pórfiro; depósitos de Sb em sistema metamórfico relacionado à zona de cisalhamento; associado a formações ferríferas e a mineralizações de Au-As-S e em veios hidrotermais com Cu-Pb-Sn-Ag-Au-As-S (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). As principais jazidas estão localizadas na China, na Rússia, no Tajiquistão, na Bolívia e na África do Sul (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011).

No levantamento geoquímico, o elemento Sb foi detectado em 3% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,002 e 0,017 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,002 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 77% das amostras, com concentrações variando entre <0,05 e 4,22 ppm, média igual a 0,16 ppm, mediana igual a 0,12 ppm e *background* entre 0,06 e 0,18 ppm. No solo, foi detectado em 98% das amostras, com concentrações variando entre

<0,05 e 1,92 ppm, média igual a 0,26 ppm, mediana igual a 0,19 ppm e *background* entre 0,12 e 0,30 ppm.

Sc - Escândio

O escândio é um elemento de coloração prateada, baixa densidade, alto ponto de fusão e sob a ação do ar adquire película amarelada a rosada. Não é encontrado livre na natureza. Nos retículos cristalinos pode substituir o Mg, Fe, Al, Cr e Ti associados aos minerais ferromagnesianos, sendo assim enriquecido nas rochas máficas nos estágios iniciais de cristalização. Está também presente em carbonatitos, pegmatitos e depósitos hidrotermais, junto com os ETR (elementos terras-raras), Y, Zr, Ti, Be, W, Nb, Ta e V (KOLJONEN, 1992). O Sc mostra preferência pelos íons PO_4^{2-}, SO_4^{2-}, CO_3^{2-} e F^-, mas com o íon fosfato é mais efetiva a ligação, precipitando compostos de Sc (enriquecimento de Sc nas fosforitas). Nos solos, a presença do Sc é controlada pelo material fonte, sendo que altas quantidades desse elemento são encontradas em solos derivados de granitos e vulcânicas (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). O Sc dissolvido pelo intemperismo dos minerais máficos é facilmente adsorvido por argilas e hidróxidos de Fe e Al em clima quente e úmido (bauxita e lateritas) e, nos sedimentos de corrente, o teor de Sc é ditado pelo material-fonte, sendo adsorvido nas argilas. Seus principais minerais são a thortveitita [$(ScY)Si_2O_7$] e kolbeckita ($ScPO_4.2H_2O$) (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É usado na indústria metalúrgica, formando ligas leves e de alta resistência com o Al; fontes de luz (ScI_3); o composto Sc_2O_3 é usado em lâmpadas de alta intensidade; quando o Sc é irradiado por uma fonte de nêutrons, passa a emitir uma radiação, com a possibilidade de uso em radioterapia (PEIXOTO, 2005). Não tem papel biológico conhecido, mas seus compostos são considerados tóxicos e carcinogênicos, apesar de pouco estudados. Tanto em ambiente oxidante quanto em redutor o Sc é imóvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). É extraído como subproduto, associado aos seguintes depósitos: (i) molibdênio do tipo *Climax,* (ii) Ni-Co, (iii) Fe-W-Sn, (iv) apatitas e eudialytas na península de Kola, (v) depósitos de urânio contendo thortveitita (~34% Sc_2O_3), (vi) pegmatitos ricos em thortveitita e (vii) ocorrência de thortveitita reportada a Kobe, Japão (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). O Sc é obtido como subproduto na China, no Cazaquistão, na Rússia e na Ucrânia. Alguns recursos são encontrados na Austrália, em Madagascar, na Noruega, na Rússia e na Ucrânia.

No levantamento geoquímico, o elemento Sc não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 99% das amostras, com concentrações variando entre <0,1 e 29,4 ppm, média igual a 4,4 ppm, mediana igual a 3,1 ppm e *background* entre 1,4 e 5,7 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,2 e 57,5 ppm, média igual a 11,1 ppm, mediana igual a 7,5 ppm e *background* entre 4,6 e 12,8 ppm.

Se - Selênio

O selênio é um elemento raro na natureza, existindo naturalmente em rochas, sedimentos e solos. Ocorre associado aos minérios do grupo dos sulfetos e a outros elementos como Pb, Hg, Cu, Ag e Th, e forma minerais raros como claustalita, tiemanita, naumanita, klockmanita, berzelianita, umangita, eucairita e crooksita. Segundo Levinson (1974), a média crustal é 0,05 ppm, em solos é 0,2 ppm e em águas fluviais é 0,2 mg/L. Ocorre em seu estado nativo juntamente com o enxofre ou, ainda, sob a forma de selenetos em alguns minerais complexos, tais como: seleneto de cobre e prata (CuAgSe), seleneto de chumbo (PbSe), seleneto de prata (Ag_2Se), seleneto complexo de cobre, titânio e prata ($(CuTlAg)_2Se$) e, ainda, seleneto de cobre e chumbo (PbCuSe). Tem várias aplicações na área da eletrônica e elétrica; em fotografias é utilizado como catalisador na oxidação, hidrogenação e desidrogenação de compostos orgânicos, sendo também adicionado aos aços inoxidáveis. Melhora a resistência ao desgaste da borracha vulcanizada. É um micronutriente para todas as formas de vida. Embora o selênio seja um elemento químico relativamente escasso na natureza, ele está rotineiramente presente no solo (na crosta terrestre, participa com 800 ppb em peso), sendo essencial ao organismo humano. No entanto, torna-se tóxico e cancerígeno quando associado a algumas de suas formas orgânicas e se consumido em quantidades elevadas. As formas de exposição de seres humanos ao selênio ocorrem tanto por meio da ingestão de alimentos ou água, como pelo contato com solos, resíduos ou ambientes contendo altas concentrações na forma de vapor/gás. Sua carência nos humanos pode causar: esterilidade feminina, infecções, problemas de crescimento e insuficiência pancreática. Seu excesso (em nível de nutrientes) nos humanos pode causar: artrite, cansaço, halitose, irritabilidade, disfunção renal, desconforto muscular e pele amarelada. É altamente móvel em condições ambientais de oxidação e altamente imóvel em ambientes redutores. As principais fontes são os minérios de cobre, dos quais o selênio é

recuperado como subproduto a partir dos processos de *flash smelting* e/ou refinação eletrolítica. Entre os maiores produtores mundiais de selênio estão os EUA, Canadá, Suécia, Bélgica, Japão e Peru.

No levantamento geoquímico, o elemento Se foi detectado em 6% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,002 e 0,695 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,002 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 14% das amostras, com concentrações variando entre <0,1 e 19,0 ppm, e média, mediana e *background* igual a <0,1 ppm. No solo, foi detectado em 8% das amostras, com concentrações variando entre <0,1 e 3,0 ppm, e média, mediana e *background* igual a <0,1 ppm.

Si - Silício

O silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, ficando apenas atrás apenas do oxigênio, que compõe quase a metade de toda a crosta. Na água do mar, a sua concentração é relativamente baixa, com média de apenas 3 mg/L. É encontrado em praticamente todas as rochas e solos. Combinado com o oxigênio, forma a sílica (SiO_2); com oxigênio e outros elementos (alumínio, magnésio, cálcio, sódio, potássio ou ferro) forma silicatos, sendo os principais: quartzo, feldspatos e mica. É um componente essencial da grande maioria das rochas que formam a crosta terrestre. Arenitos, argilitos e granitos são exemplos de rochas que contêm compostos de silício. O quartzo (SiO_2) pode apresentar diferentes cores de acordo com a presença de pequenas quantidades de elementos associados. A sílica quase pura é conhecida como cristal de rocha. Os quartzos de cor púrpura ou lilás são conhecidos como ametista, os cristais de coloração amarela são conhecidos como citrinos. A opala, sílica amorfa hidratada, é encontrada, também, em várias cores. Utilizado principalmente para a produção de ligas metálicas, na preparação de silicones, na indústria cerâmica e, por ser um material semicondutor muito abundante, tem um interesse muito especial na indústria eletrônica e microeletrônica, como material básico para a produção de transistores para *chips*, células solares e em diversas variedades de circuitos eletrônicos. Por esta razão, é conhecida como Vale do Silício a região da Califórnia (Estados Unidos), onde estão concentradas numerosas empresas do setor de eletrônica e informática. O silício é bastante usado na indústria metalúrgica como agente redutor e na produção de ligas de aços, latões e bronzes. Na forma de sílica (areia), é usado na fabricação de materiais refratários. Misturado ao cimento, é usado na fabricação de tijolos e de diferentes concretos. Na forma de quartzo, o óxido de silício é empregado na fabricação de vidros especiais - como os boro-silicatos (tipo Pyrex®), esmaltes, vernizes especiais e cerâmicas variadas. O silício forma uma importante classe de compostos conhecidos como silicones, que podem ser encontrados como óleos, graxas e borrachas. Algumas delas têm importantes usos em cirurgias plásticas, como nos implantes de seios e em outras próteses. O silício, em função de sua abundância na Terra, é amplamente utilizado como matéria-prima de diversos produtos, assim como é produto final e subproduto em vários processos industriais, ocasionando a exposição ocupacional em diversas atividades de trabalho de uma empresa, ou ainda pela contaminação do ambiente no entorno, como é o caso de pedreiras. A exposição ocupacional ocorre por meio da inalação de poeira contendo sílica livre cristalina. No Brasil, as atividades que apresentam o maior risco de exposição à sílica são: mineração, construção civil (construção de túneis, barragem e estradas), indústria naval (jateamento de areia na opacificação de vidros), na fundição e no polimento de peças na indústria metalúrgica, indústria de cerâmicas, fabricação de vidros, atividades de moagem de quartzo e pedras, artesanatos e acabamentos em mármore, granito, ardósia e outras rochas. Na situação de exposição ocupacional, a inalação de poeira é intensa e duradoura, podendo causar silicose, câncer de pulmão, tuberculose e diversas doenças autoimunes. Desta forma, configura-se num problema de saúde pública, em especial no campo da saúde do trabalhador e do meio ambiente A mobilidade do silício é baixa sob condições de oxidação e redução, em meio ácido e neutro a alcalino. O quartzo, sob forma de ametista, variedade violeta, ocorre em pegmatitos e filões hidrotermais. Sua utilização como gema é conhecida desde a Antiguidade. Atualmente, as maiores quantidades de opala se encontram nas minas da Austrália e da América Central, incluindo o México. Na Eslováquia, encontra-se opala nas minas próximas à Prešov (Dubník). O silício é particularmente importante como o bloco de construção de algas unicelulares (diatomáceas). O Brasil possui grandes reservas de quartzo (cristal de rocha), especialmente nos estados de Goiás, Minas Gerais e Bahia.

No levantamento geoquímico, o elemento Si foi detectado em 99% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,002 a 75,000 mg/L,

média igual a 8,865 mg/L, mediana igual a 7,450 mg/L e *background* entre 5,300 a 10,300 mg/L. No sedimento de fundo e solo, o elemento não foi analisado.

Sn - Estanho

O estanho (do latim – *stannum*) é um metal siderófilo, de coloração branco-metálica brilhante, maleável, bom condutor de eletricidade e de calor, resistente à corrosão, inerte ao oxigênio em condições ambiente, e apresenta baixa temperatura de fusão em relação aos outros metais. A sua mobilidade durante o intemperismo é reduzida e altamente dependente do pH. O íon Sn^{+2} é um forte agente redutor, podendo estar presente em ambientes ácidos e redutores. Durante os processos magmáticos, o Sn^{4+} pode substituir Ti^{4+} e Fe^{3+} em minerais acessórios, sendo que esse íon é fortemente concentrado em complexos do tipo $(SnO_4)^{4-}$ em magmas residuais, tornando-se mais enriquecido em rochas ácidas do que em básicas (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). A cassiterita (SnO_2) é a principal fonte, embora pequenas quantidades de estanho sejam recuperadas de sulfetos complexos, tais como a estanita (Cu_2FeSnS), cilindrita ($FePb_3Sn_4Sb_2S_{14}$), franckeita ($Pb_5Sn_3Sb_2S_{14}$), canfieldita (Ag_8SnS_6) e teallita ($PbSnS_2$). É usado principalmente em ligas metálicas (devido a sua fusibilidade) com o Fe, Cu, Pb e Zn. Sua utilização é conhecida desde a antiguidade pela sua liga com o cobre (Idade do Bronze – 3.300 a.C.). Em galvanoplastia (revestimento de utensílios de cozinha, peças mecânicas, chapas de automóveis), solda (Pb-Sn), componentes eletrônicos, objetos decorativos, na fabricação de molas e espelhos, remédios e fungicidas. Por ser muito maleável, é usado como lâminas recobrindo papéis (cigarros, chocolates, etc). O composto nióbio-estanho (Nb_3Sn) é comercialmente usado para produzir fios de eletroímãs e supercondutores. Seus compostos orgânicos são considerados extremamente tóxicos, e, em níveis elevados, podem ser carcinogênicos e teratogênicos (LOPES JUNIOR, 2007; MINERAIS DO PARANÁ, 2005). É imóvel em condições oxidantes e redutoras (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Os depósitos estão associados às rochas félsicas intrusivas em "*skarnitos*" e sulfetos tipo "*stratabound*"; veios de Sn em *greisens*; relacionados às intrusões porfiríticas (Sn-pórfiros e veios com Sn e polimetálicos); relacionados com vulcânicas félsicas (Sn em riolitos); depósitos superficiais do tipo *"placers"* de cassiterita (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). As principais jazidas estão localizadas no Peru, na Bolívia, na Indonésia, na China, no Brasil e no Congo (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). No Brasil, têm-se a Mina do Pitinga (AM) e a Província Estanífera de Rondônia (DNPM, 2010). No levantamento geoquímico, o elemento Sn foi detectado em 4% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,01 e 0,88 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,01 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 98% das amostras, com concentrações variando entre <0,3 e 35,1 ppm, média igual a 1,6 ppm, mediana igual a 1,2 ppm e *background* entre 0,8 e 2,0 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre <0,3 e 19,3 ppm, média igual a 2,2 ppm, mediana igual a 1,8 ppm e *background* entre 1,3 e 2,8 ppm.

Sr - Estrôncio

O estrôncio é um metal alcalino-terroso, branco-prateado, maleável, dúctil, bom condutor de eletricidade e que se oxida rapidamente quando exposto ao ar. Pode substituir Ca, K e Ba nos retículos cristalinos. Cristaliza-se nos plagioclásios e feldspatos potássicos durante o processo de diferenciação magmática e ocorre como carbonatos e sulfatos em processos hidrotermais. É enriquecido nas rochas alcalinas e carbonatitos. Durante o intemperismo, é facilmente mobilizado, principalmente em ambientes oxidantes ácidos. O conteúdo de Sr nos solos é fortemente controlado pela rocha-fonte e pelo clima; com isto suas razões variam nos horizontes superficiais, sendo fortemente lixiviado em solos ácidos (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992; KOLJONEN, 1992). Os minerais são celestita ($SrSO_4$) e estroncianita ($SrCO_3$). É utilizado no refino de açúcar, na síntese da gema fabulita (titanato de estrôncio), fogos de artifício (nitratos), composição de pigmentos (cromatos), fabricação de cerâmicas, medicina, odontologia, vidros para tubos de imagem de TV, ímãs de ferrita e cremes dentais. O isótopo ^{90}Sr é usado em radioterapia e em geradores para converter diretamente radiação em energia elétrica. O ^{87}Sr radiogênico é produzido pela desintegração do ^{87}Rb radioativo (método Rb-Sr utilizado para datação de rochas). É utilizado em prospecção geoquímica de sedimentos de corrente na procura de carbonatitos e depósitos tipo cobre pórfiro. Não é tóxico, exceto a forma radioativa (^{90}Sr artificial, remanescente de explosões nucleares). Por se assemelhar ao Ca**,** o Sr é absorvido pelo corpo e armazenado nos ossos em substituição ao primeiro. O isótopo ^{90}Sr, se ingerido, é perigoso, pois pode ocupar o lugar do Ca na estrutura óssea e, com a radiação, é capaz de afetar a medula e as células do sangue em formação,

contribuindo para o aparecimento de câncer (LOPES JUNIOR, 2007). Tanto em ambiente oxidante (pH<4 e pH 5-8), quanto em ambiente redutor, a sua mobilidade é moderadamente alta (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Encontrado em ambiente hidrotermal plutônico associado a veios de pegmatitos; endógeno plutônico associado a carbonatitos (BIONDI, 2003). Em rochas sedimentares o Sr precipita como carbonato e sulfato e está presente em depósitos de evaporitos (KOLJONEN, 1992). As principais jazidas estão localizadas na China, na Espanha, no México, na Argentina, no Marrocos, no Irã e no Paquistão (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2011). No Brasil, há apenas um pequeno depósito não comercial de celestita em rochas sedimentares (Bacia do Apodi), em Governador Dix-Sept Rosado-RN, e uma ocorrência na Bacia do Araripe, em Santana do Cariri-CE (LIMA *et al.*,1994).

No levantamento geoquímico, o elemento Sr foi detectado em 94% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,002 e 15,100 mg/L, média igual a 0,134 mg/L, mediana igual a 0,050 mg/L e *background* entre 0,030 e 0,081 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 99% das amostras, com concentrações entre <0,5 e 407,2 ppm, média igual a 10,4 ppm, mediana igual à 6,7 ppm e *background* entre 3,3 e 12,7 ppm. No solo, foi detectado em 99% das amostras, com concentrações variando entre <0,5 e 139,7 ppm, média igual a 8,5 ppm, mediana igual a 5,3 ppm e *background* entre 2,7 e 9,2 ppm.

T - Temperatura

A temperatura é um dos padrões de qualidade das águas intimamente atrelada à sensibilidade dos organismos vivos. Variações de temperatura afetam os hábitos alimentares, reprodutivos e as taxas metabólicas dos organismos aquáticos. Quando a alteração da temperatura de um corpo hídrico é tão significativa a ponto de alterar a sua qualidade, ela passa a ser caracterizada como poluição térmica. Temperaturas superiores a 32°C podem ser letais para muitos organismos aquáticos. Geralmente, a temperatura é medida por meio de um termômetro com escala em graus centígrados (°C) (SISTE, 2011).

No levantamento geoquímico, a temperatura da água foi medida em 98% das estações de coleta de água de drenagem e apresentou valores entre 2,07 a 33,3°C, média igual a 19,93°C, mediana igual a 19,9°C e *background* entre 17,2 e 22,9°C.

Ta - Tântalo

O tântalo é um metal extremamente dúctil e maleável, inclusive em baixas temperaturas, sendo considerado um elemento de abundância razoavelmente baixa na crosta terrestre, com poucos depósitos conhecidos. É encontrado frequentemente com nióbio, tório e elementos radioativos, como o urânio, em granitos, carbonatitos e pegmatitos. A tantalita é o principal mineral-minério de tântalo. Mas, em quantidades bem menores, o tântalo pode entrar na composição da columbita, euxenita e outros minerais como a samarskita e a fergusonita. É usado na fabricação de capacitores na indústria eletrônica, em superligas para produzir peças de motores a jato, mísseis e reatores nucleares. Como não é rejeitado pelo organismo humano, o Ta é usado na manufatura de próteses para o tratamento de fraturas, tais como chapas, pinos, parafusos e marca-passos cardíacos. Sua utilização cresceu, principalmente, a partir dos anos de 1980, impulsionada pela crescente demanda da indústria de componentes eletrônicos. Atualmente, sua principal aplicação é na produção de capacitores, largamente utilizados em computadores pessoais e portáteis, câmeras digitais, celulares, etc. Na indústria automotiva, tem aplicação em *airbags*, controles de ignição e freios ABS. Normalmente, não causa problemas quando manuseado em laboratório; entretanto, deve ser considerado como altamente tóxico, porque há evidência de que os compostos de tântalo podem causar tumores, e a poeira do metal é explosiva. Tanto em ambiente oxidante (pH<4 e pH 5-8) quanto em ambiente redutor, a sua mobilidade é moderadamente baixa a nula (ANDREWS-JONES, 1968 e ROSE; HAWKES; WEBB, 1979, *apud* LICHT; MELLO; SILVA, 2007). A mineralização em tântalo está associada a três tipos clássicos de depósitos geológicos: carbonatíticos, pegmatíticos e metassomáticos de contato. Há uma prevalência nos pegmatitos complexos, zonados, irregulares. A paragênese mineral do tântalo, na forma de columbita-tantalita, favorece sua explotação consorciada com cassiterita, berilo, cristais de rocha (quartzo) etc, na condição de produto principal, coproduto ou subproduto. Os minerais satélites, indicadores de maiores teores de tântalo em pegmatitos, são: albita, lítio e minerais de berílio (DNPM, 2015). O maior produtor mundial é a Austrália. Outros grandes produtores são: Brasil e Canadá (como subproduto da mineração de nióbio); Tailândia e Malásia (como subproduto da mineração de cassiterita) e China, Etiópia e Moçambique. Segundo o DNPM, o Brasil possui as maiores reservas de tantalita, que equivalem a 45% de todo o tântalo existente no mundo, mas poucas empresas brasileiras exploram o metal. As maiores lavras ocorrem no Rio Grande do Norte (Borborema), no Amazonas e no interior do Amapá (DNPM, 2015).

No levantamento geoquímico, o elemento Ta não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 8% das amostras, com concentrações variando entre <0,05 e 0,33 ppm, e média, mediana e *background* igual a <0,05 ppm. No solo, foi detectado em 10% das amostras, com concentrações variando entre <0,05 e 0,34 ppm, e média, mediana e *background* igual a <0,05 ppm.

Te - Telúrio

O telúrio é um semimetal (metaloide), frágil e facilmente pulverizável. É um elemento raro, às vezes encontrado na forma nativa, porém mais frequentemente na forma de telureto de ouro ou, em pequena quantidade, combinado com outros metais constituindo diversos minerais. Para o meio ambiente é liberado, principalmente, nas emissões industriais e na combustão do carvão. O elemento ocorre em pequenas quantidades em minerais como altaíta (PbTe), calaverita ($AuTe_2$), coloradoíta (HgTe), rickardita (Cu_7Te_5), petzita (Ag_3AuTe_2), silvanita ($(Ag,Au)Te_2$) e tetradimita (Bi_2Te_2S). Também encontra é encontrado no estado nativo e na forma de dióxido (TeO_2). A aplicação do telúrio é em ligas com outros metais. É adicionado ao chumbo para aumentar a sua resistência mecânica, durabilidade e diminuir a ação corrosiva do ácido sulfúrico. Quando adicionado ao aço inoxidável e cobre, torna os materiais mais facilmente usináveis. Outros usos: em cerâmicas, adicionado à borracha aumenta a sua resistência ao calor e ao envelhecimento; como pigmento azul em vidros. Também é usado em espoletas de explosivos e apresenta potenciais aplicações em painéis solares como telureto de cádmio. É um elemento não essencial e tóxico em doses relativamente altas. Sua toxicidade é comparável à do selênio, pois tem um comportamento químico semelhante. Apesar de não apresentar grandes problemas para a saúde do organismo, se presente no ar (mesmo em baixas concentrações) pode causar desde ressecamento na boca e hálito desagradável a dores de cabeça e vertigens. Em todas as condições ambientais, desde oxidantes a redutoras, o telúrio apresenta mobilidade muito baixa. O telúrio é obtido, principalmente, como subproduto da produção de cobre, chumbo, níquel, prata e ouro. Os principais depósitos de telúrio situam-se no Canadá, nos EUA (Montana, Utah e Arizona) e no Peru.

No levantamento geoquímico, o elemento Te não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 17% das amostras, com concentrações variando entre <0,05 e 5,65 ppm, e média, mediana e *background* igual a <0,05 ppm. No solo, foi detectado em 35% das amostras, com concentrações variando entre <0,05 e 4,08 ppm, média, mediana igual a <0,05 ppm e *background* entre <0,05 e 0,16 ppm.

Th - Tório

O tório é um metal da série dos actinídeos, sendo o isótopo ^{232}Th o único disponível na natureza. Em condição ambiente é sólido, de cor branca brilhante a prateada, e, quando exposto ao ar, é levemente radioativo. É um condutor intermediário de calor e corrente elétrica. Possui forte caráter litófilo, concentrando-se nas partes superiores da litosfera, sendo sua distribuição fortemente controlada pelos estados de oxidação e pelo sistema Eh-pH (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). O íon Th^{+4} é facilmente solúvel e rapidamente adsorvido ou precipitado em sedimentos de materiais hidrolisados. Os minerais de tório e os enriquecidos em tório são geralmente resistatos e possuem mobilidade reduzida no intemperismo, concentrando-se assim nos sedimentos residuais em regiões de clima tropical, ou em areias e *placers* como minerais pesados (KOLJONEN, 1992). Os principais minerais de tório são monazita $[(Ce,La,Nd,Th,Y)PO_4]$, thorita $[(Th,U)SiO_4]$, euxenita $[(Y,Ca,U,Th)(Nb,Ta,Ti)_2O_6]$, sendo também encontrado em outros minerais, associado a ETR e urânio, bem como a esfalerita, apatita e zircão. Seus principais usos são como fonte de energia nuclear (no processo de obtenção de ^{233}U), ligas metálicas com o Mg, catalisador de reações, fabricação de filamentos de W e células fotoelétricas. O tório não tem função biológica conhecida e, quando disperso no ar, geralmente pela mineração, pode ocasionar câncer de pulmão, pâncreas e sangue. Caso esteja acondicionado em algum recipiente e posteriormente seja exposto ao ar, pode explodir. Mesmo com baixa radioatividade, oferece risco à saúde humana, pois pode originar espécies radioativas como o gás radônio ^{230}Rn e o ^{208}Pb. Em condições oxidantes, seja com pH<4 ou entre 5-8, ou ainda em ambiente redutor, é imóvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Os depósitos ocorrem em veios de rochas alcalinas, tipo "Barra do Itapirapuã". As principais jazidas estão localizadas nos Estados Unidos, na Índia, no Sri Lanka, na Austrália e em Madagascar. No Brasil, o tório é encontrado incluso no minério de ferro-nióbio nas minas de Catalão-Ouvidor, em Goiás, e associado a uma série de intrusões alcalinas de idade neocretácea, situadas entre a borda NE da Bacia do Paraná e a borda SW do Cráton do São Francisco. No levantamento geoquímico, o elemento Th não foi analisado nas amostras

de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 99% das amostras, com concentrações variando entre <0,1 e 537,0 ppm, média igual a 15,6 ppm, mediana igual a 4,7 ppm e *background* entre 2,0 e 12,9 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 1,0 e 54,5ppm, média igual a 8,7 ppm, mediana igual a 7,1 ppm e *background* entre 4,7 e 11,0 ppm.

Ti - Titânio

O titânio é um elemento litófilo. Quando puro, é um metal branco e brilhante, que ocorre em três estados de oxidação (Ti^{2+}, Ti^{3+} e Ti^{4+}) e possui boa resistência mecânica à corrosão. Nos minerais máficos, substitui o Fe e o Al, sendo assim mais comum em rochas máficas do que em félsicas. É o nono elemento mais comum na crosta terrestre (KOLJONEN, 1992). O Ti metálico não é encontrado livre na natureza, mas nos minerais ilmenita ($FeTiO_3$), rutilo (TiO_2) e suas variedades polimórficas brookita e octaedrita/anatásio, e sphene/titanita ($CaTiSiO_5$), além dos pouco comuns perovskita ($CaTiO_3$) e loparita $(Ce,Na,Ca)(Ti,Nb)O_3$. É utilizado na confecção de ligas usadas na indústria aeroespacial (combinando baixa densidade, boa resistência física e capacidade de resistir a altas temperaturas); confecção de próteses ortopédicas; indústria bélica e como refletor de radiação infravermelha (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). A maior parte dos concentrados provenientes dos minerais de titânio é destinada à produção de pigmentos (DNPM, 2001). Algumas variedades minerais transparentes coloridas são usadas em joalheria. Não tem papel biológico conhecido até o momento e não é tóxico, mas suspeita-se de ser carcinogênico. Em condições oxidantes, com pH<4, pH 5,0-8,0, e em condições redutoras é imóvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Como forma minerais pesados resistatos, tende a se acumular em *placers*. Encontrado em depósitos de Fe-Ti-V associados às rochas máficas e ultramáficas; em anortositos; em rochas alcalinas (carbonatitos); em depósitos superficiais do tipo *placers* (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). As principais jazidas estão localizadas na Noruega, na Austrália, no Canadá, nos EUA, na Índia, na China, na Itália, na África do Sul e no Brasil (DNPM, 2001), onde os principais depósitos localizam-se na zona costeira dos estados do RJ, ES, PB, RN, BA e RS, sendo a jazida tipo *placer* de Mataraca-PB a mais importante (BIONDI, 2003).

No levantamento geoquímico, o elemento Ti foi detectado em 18% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,001 e 4,700 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,001 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 99% das amostras, com concentrações variando entre <0,01 e 2,18%, média igual a 0,21%, mediana igual a 0,12% e *background* entre 0,06 e 0,25%. No solo, foi detectado em 95% das amostras, com concentrações variando entre <0,01 e 1,10%, média igual a 0,14%, mediana igual a 0,09% e *background* entre 0,05 e 0,17%.

Tl – Tálio

O tálio é um metal cinza-azulado, maleável, pesado, inodoro e sem gosto. É relativamente abundante na crosta terrestre (0,7 ppm), sendo encontrado principalmente associado com minerais de potássio em argilas, solos e granitos (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2019). Os principais minerais são: lorandita ($TlAsS_2$), crookesita $[Cu_7(Tl,Ag)Se_4]$ e hutchinsonita $[(Tl, Pb)_2As_5S_9]$ (PRIOR, 1905). É usado como material semicondutor para retificadores de selênio, em equipamentos de detecção de radiação gama (cintilômetros) e infravermelha, em filtros cristalinos para difração da luz juntamente com selênio e arsênio, em equipamentos de medição de baixas temperaturas junto com Hg, na síntese de compostos orgânicos e em líquidos de alta densidade (*UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*, 2019), além disso é usado como veneno de ratos e formigas na forma do sulfato de tálio (MAIA, 2004). O tálio metálico é um composto altamente tóxico para o meio ambiente e para seres humanos pelos riscos em longo prazo, pois acumula-se no organismo (MAIA, 2004). Ele chega ao meio ambiente, principalmente, através da queima de carvão e na fundição de minérios de cobre, chumbo e zinco. A fonte de tálio nas águas são os efluentes de fábricas de vidros, de eletrônicos e de remédios, além das águas provenientes das minerações (BELZILE; CHEN, 2017). O tálio é um metal muito reativo que se oxida lentamente, quando exposto ao ar em temperatura ambiente, formando os óxidos de tálio (I) e tálio (III). Sua mobilidade é comparada a do potássio, ligeiramente móvel tanto em condições redutoras quanto oxidantes (BELZILE; CHEN, 2017). Sua principal fonte comercial é como mineral-traço em depósitos de sulfetos de cobre, chumbo e zinco e na recuperação de poeira de combustíveis. Ainda não existem depósitos ou reservas exclusivamente de tálio.

No levantamento geoquímico, o elemento Tl não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 56% das amostras, com concentrações variando entre <0,02 e 1,77 ppm, média igual a 0,08 ppm, mediana igual a 0,03 ppm e

background entre 0,02 e 0,12 ppm. No solo, foi detectado em 70% das amostras, com concentrações variando entre <0,02 e 0,82 ppm, média igual a 0,11 ppm, mediana igual a 0,05 ppm e *background* entre 0,02 e 0,13 ppm.

U - Urânio

O urânio é um metal do grupo dos actinídeos, não possui cor característica, é denso, reativo, dúctil, maleável, oxida-se facilmente e possui como característica principal ser altamente radioativo. Existe na forma de três isótopos: ^{234}U, ^{235}U e ^{238}U. O íon U^{+4} concentra-se nos últimos estágios de diferenciação magmática, nas estruturas do zircão, allanita, esfalerita, apatita, monazita e minerais de tório, ítrio e lantanídeos. O urânio é comumente enriquecido nos granitos, pegmatitos e depósitos hidrotermais. Suas associações metalogenéticas são com V, As, P, Mo, Se, Pb e Cu (KOLJONEN, 1992). Em condições de intemperismo, forma complexos orgânicos facilmente solúveis e móveis, relativamente estáveis em condições áridas. Na litosfera, sua distribuição é controlada pelos estados de oxidação e pelo sistema Eh-pH. Por ser muito reativo, não é encontrado em seu estado elementar (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Seus principais minerais são: a pechblenda, variedade impura da uraninita (UO_2), a carnotita [$K_2(UO_2)_2(VO_4)_2.3H_2O$], a euxenita [$(Y,Ca,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti)_2O_6$], a autunita [$Ca(UO_2)_2(PO_4)_2.12H_2O$], a torbenita [$Cu(UO_2)_2(PO_4)_2.12H_2O$], a samarskita [$(Y,U,Ce,Ca,Fe,Pb,Th,Tr)(Nb,Ta,Ti,Sn)_2O_6$], a lantinita [$UO_2(OH_2)$], a margaritasita [$(Cs,K)(H_2O)_2(UO_2)_2V_2O_8.H_2O$] e a albernatyite [$K_2(UO_2)_2(AsO_4)_2.6H_2O$]. É usado como combustível nuclear para geração de energia elétrica, explosivos nucleares e produção de raios X. Não é um elemento nutriente e ocorre em alguns locais devido a vazamentos e acidentes em usinas nucleares e no armazenamento do lixo atômico. Por ser radioativo e bioacumulativo, pode causar sérios problemas ao sangue, ossos, rins e fígado, sendo altamente carcinogênico (*AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY*, 1995). Em condições oxidantes com pH<4,0 e 5,0-8,0, a mobilidade é moderadamente alta, e em condições redutoras mostra-se imóvel (MINERAIS DO PARANÁ, 2005; KOLJONEN, 1992). Os depósitos estão relacionados com vulcânicas félsicas e máficas subaéreas; associado aos depósitos de Au em rochas sedimentares clásticas, tipo folhelhos negros (Suécia) ou conglomerados e arenitos tipo *Witwatersrand*; em rochas metamórficas regionais do tipo discordância junto com o Au; em rochas alcalinas (carbonatitos) e depósitos do tipo IOCG; relacionados a inconformidades (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). As principais jazidas estão localizadas na Austrália, no Cazaquistão, no Canadá, na Namíbia, na Rússia, no Níger e no Uzbequistão. No Brasil, as principais jazidas estão na Bahia (Lagoa Real, município de Caetité), no Ceará (Itataia, município de Santa Quitéria) e em Minas Gerais (Poços de Caldas).

No levantamento geoquímico, o elemento U não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 99% das amostras, com concentrações variando entre <0,05 e 59,83 ppm, média igual a 1,65 ppm, mediana igual a 0,57 ppm e *background* entre 0,23 e 1,56 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,08 e 6,87 ppm, média igual a 1,06 ppm, mediana igual a 0,82 ppm e *background* entre 0,52 e 1,26 ppm.

V - Vanádio

O vanádio é um metal de cor branco-prateada, macio, dúctil, litófilo, e que ocorre em vários estados de oxidação. Não é encontrado livre na natureza e nas rochas substitui o Fe nos óxidos, piroxênios, anfibólios e micas, sendo facilmente liberado dos minerais máficos durante o intemperismo. Ocorre junto com o urânio em sedimentos ricos em matéria orgânica, notadamente em ambientes redutores (KOLJONEN, 1992). Seus principais minerais são: a carnotita [$K_2(UO_2)_2(VO_4)_2.3H_2O$], a ferghanita [$U_3(VO_4)_2.6H_2O$], vanadinita [$Pb_5(VO_4)_3Cl$], a patronita ($VS_4$), e o filossilicato (mica) roscoelita [$K(VAlMg)_2AlSiO_3)_{10}(OH)_2$]. Pode também ser encontrado em outros 60 diferentes minerais, na bauxita, nos minérios de Fe e Ti, no carvão mineral e no petróleo (notadamente o extraído na Venezuela). É usado, principalmente, como componente da liga Fe-V, na indústria de aços especiais, conferindo uma melhor resistência ao choque e à corrosão (estruturas de aviões, gasodutos, oleodutos e ferramentas de melhor qualidade); como compostos químicos em agentes catalisadores. O vanádio é considerado um elemento essencial para algumas espécies vegetais e animais (LOPES JUNIOR, 2007). Exposições a altos níveis desse elemento podem causar irritações nos pulmões, olhos e garganta, mas não é considerado elemento carcinogênico (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Em condições oxidantes com pH<4 ou 5,0-8,0, possui mobilidade moderadamente alta e em condições redutoras é imóvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Encontrado em depósitos de Fe-Ti-V associados a rochas máficas e ultramáficas; em EGP do tipo Alaska; em rochas alcalinas (carbonatitos); associado a depósitos de magnetita vulcanogênica; em associação com depósitos de urânio em rochas sedimentares (LICHT; MELLO; SILVA,

2007). As principais jazidas estão localizadas na África do Sul, na China e na Rússia (abastecem o mercado mundial com 98,2%), na Austrália e ns EUA. No Brasil, o vanádio pode ser encontrado no município de Maracás-BA, mas ainda não há produção no país na forma de metal (DNPM, 2010).

No levantamento geoquímico, o elemento V foi detectado em 9% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,001 e 0,690 mg/L, e média, mediana e *background* igual a <0,001 mg/L. No sedimento de fundo, foi detectado em 99% das amostras, com concentrações variando entre <1 e 1547 ppm, média igual a 80 ppm, mediana igual a 35 ppm e *background* entre 18 e 74 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 5 e 819 ppm, média igual a 128 ppm, mediana igual a 74 ppm e *background* entre 49 e 128 ppm.

W - Tungstênio

O tungstênio, também conhecido como wolfrâmio, é um metal de cor branca a cinza, apresenta o mais elevado ponto de fusão entre os metais, e não é encontrado livre na natureza. A variação no teor deste metal entre os tipos de rocha é pequena e seu conteúdo nos silicatos é muito baixo (1-5 ppm). Durante a diferenciação magmática, é geralmente enriquecido na crosta superior e nos diferenciados tardios (KOLJONEN, 1992). Ocorre principalmente nos minerais scheelita ($CaWO_4$) e wolframita [$(Fe,Mn)WO_4$], que são muito resistentes ao intemperismo e costumam ser concentrados em areias (*placers*) junto com outros minerais pesados. Os minerais de W são encontrados associados a pegmatitos, granitos, formações hidrotermais e *skarns* em calcários metamórficos. No Brasil (Rio Grande do Norte e Paraíba), a scheelita está principalmente associada às rochas calcissilicáticas, às vezes contendo molibdenita (MoS_2) e sulfetos de Fe, Cu e outros metais, inclusive o Au. É usado principalmente no setor de ferro-ligas (Fe, Ni ou Co); na forma de carbetos (WC e W_2C), tipo *widia* (conhecido como metal duro), que por sua alta dureza servem para revestir extremidades das brocas de perfuração (*bits*) nos trabalhos de mineração, petróleo e ferramentas, e como abrasivos. Nos filamentos de lâmpadas incandescentes pelo seu alto ponto de fusão; na indústria bélica; em superligas aplicadas nas ferramentas que exigem alta resistência; indústrias de produtos químicos e de curtumes (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Não possui papel biológico conhecido e todos os seus compostos são levemente tóxicos; não é considerado carcinogênico (*AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY*, 1995). Em condições oxidantes com pH 5,0-8,0 é ligeiramente móvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Os depósitos estão associados à *skarnitos*; em veios; em *greisens*; relacionados a intrusões porfiríticas nos depósitos do tipo IOCG (Cu, Cu-Au, Cu-Mo, Fe-óxidos-Cu-Au); em associação com depósitos superficiais do tipo *placers* de estanho (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). As principais jazidas estão localizadas na China (75% da produção mundial), na Rússia, nos EUA, no Canadá, na Bolívia, no Brasil, na Áustria e em Portugal. No Brasil, o tungstênio (scheelita) é encontrado no Rio Grande do Norte e na Paraíba (principalmente nas minas da região do Seridó, porção central do RN), bem como nos estados do Pará e Rondônia (DNPM, 2010).

No levantamento geoquímico, o elemento W não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 42% das amostras, com concentrações variando entre <0,1 e 12,5 ppm, média e mediana igual a <0,1 ppm e *background* entre <0,1 e 0,2 ppm. No solo, foi detectado em 44% das amostras, com concentrações variando entre <0,1 e 4,0 ppm, média e mediana igual a <0,1 ppm e *background* entre <0,1 e 0,2 ppm.

Y - Ítrio

O ítrio, embora não seja um lantanídeo, é considerado por vários autores como um dos ETR (elementos de terras-raras), devido às suas semelhanças geoquímicas e metalúrgicas. Possui cor prateada metálica, é dúctil, reativo e estável em contato com o ar. Durante a diferenciação magmática se comporta como um ETRP (elementos terras-raras pesados) da série Eu-Lu, e nos estágios finais de cristalização associa-se com os metais alcalinos, tornando-se enriquecido em pegmatitos e rochas metassomáticas provenientes de soluções hidrotermais (KOLJONEN, 1992). Tem como principais minerais: xenotímio (YPO_4), fergusonita [$(Y(Nb,Ta)O_4$], monazita [$(Y,La,Nd,Th,Ce)PO_4$], bastanäsita [$(Y,Ce)CO_3F$), gadolinita [$(Y,Ce,La,Nd)FeBe_2Si_2O_{10}$] e euxinita [$(Y,Ca,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti)_2O_6$]. É bastante utilizado na confecção de ligas de Al e Mg para aumentar a resistência em vidros ópticos, cerâmicas supercondutoras, catalisadores, *lasers* infravermelhos e filtros de micro-ondas. Na medicina, alguns de seus isótopos radioativos são usados na radioterapia do câncer. Não possui função biológica conhecida, sendo considerado levemente tóxico e suspeito de ser carcinogênico (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). Em condições oxidantes ou redutoras é imóvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). É extraído como subproduto

em rochas alcalinas associadas a carbonatitos do tipo Araxá; depósitos de processos superficiais do tipo *placers-shoreline* associado a monazita e zircão (BIONDI, 2003). As principais jazidas estão localizadas na China, na Índia, na Malásia, na Rússia, na Noruega, nos EUA e no Canadá. No Brasil, o ítrio é obtido como subproduto em rochas alcalinas na Mina Barreiro, no Complexo Alcalino-carbonatítico de Araxá-MG, onde se destaca a extração de P_2O_5 (regolito formado por pandaíta, apatita e monazita), Nb_2O_5 e ETR_2O_3 (quantidade total de ETR) (BIONDI, 2003).

No levantamento geoquímico, o elemento Y não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,16 e 185,30 ppm, média igual a 8,11 ppm, mediana igual a 4,94 ppm e *background* entre 2,03 e 10,20 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre 0,48 e 51,33 ppm, média igual a 7,80 ppm, mediana igual a 4,96 ppm e *background* entre 2,60 e 10,40 ppm.

Zn - Zinco

O zinco é um metal de cor branco-azulada, possui facilidade de se oxidar, baixo ponto de fusão, que o torna maleável, é um razoável condutor de eletricidade e tem facilidade de combinação com outros metais, o que permite sua utilização na fabricação de ligas. É um elemento compatível com as fases iniciais de fracionamento magmático, tornando-se mais enriquecido nas rochas básicas do que nas ácidas (WEDEPOHL, 1998). Possui raio iônico similar aos íons Fe+2 e Mg+2, por isso é fracionado entre os óxidos e silicatos, podendo ser incluído na rede cristalina por substituição. Comumente, , encontra-se associado ao Cd, Co, Cu, Ga, In, Fe e Hg (KOLJONEN, 1992). Tem como principais minerais a esfalerita (ZnS), a smithsonita (ZnCO3), a hidrozincita [Zn5.(CO3)2.(OH)6], zincita (ZnO), a calamina [Zn4Si3O(OH)2], a willemita (Zn2SiO4) e a franklinita [(Zn,Mn,Fe)2O4]. Os compostos de Zn possuem uma variada utilização na indústria (desodorantes, xampu, tintas luminescentes, cosméticos, borrachas, tintas, pilhas e baterias etc.). É utilizado também em ligas, como latão e o bronze, entretanto seu uso principal está no processo de galvanização. É um elemento-traço essencial para os sistemas vivos, desempenhando importante papel nas atividades enzimáticas, metabolismo, síntese de proteínas, manutenção da estrutura e função das membranas e na atividade hormonal. É encontrado em todos os tecidos e fluidos do corpo humano, sendo essencial para o crescimento, desenvolvimento e reprodução (KOLJONEN, 1992). O Zn metálico e seus compostos não são considerados tóxicos, salvo em elevadas quantidades, mas alguns sais podem ser carcinogênicos (*AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY*, 1995). Em condições oxidantes com pH<4,0 ou 5,0-8,0 possui mobilidade moderadamente alta, porém em condições redutoras é imóvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Ocorre associado às rochas alcalinas (carbonatitos); em intrusões porfiríticas com Cu, Cu-Au e Cu-Au-Mo; em skarnitos; também ocorre associado às vulcânicas félsicas e máficas submarinas do tipo Kuroko; em rochas sedimentares clásticas (do tipo Pb-Zn), incluso em arenitos e do tipo SEDEX; em mármores e dolomitos tipo *Mississipi Valley*; relacionados a processos superficiais do tipo *placers* de cassiterita (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). As principais jazidas estão localizadas na China, na Austrália, no Peru, no Cazaquistão, nos EUA, no México, no Canadá e na Irlanda. O Brasil contribuiu em 2009 com 1,6% da produção mundial de zinco, sendo que as principais jazidas são encontradas nos estados de Minas Gerais e Paraná (DNPM 2010).

No levantamento geoquímico, o elemento Zn foi detectado em 36% das amostras de água de drenagem, com concentrações variando entre <0,005 e 3,020 mg/L, média e mediana igual a <0,005 mg/L e *background* entre <0,005 mg/L e 0,020 No sedimento de fundo, foi detectado em 99% das amostras, com concentrações variando entre <1 e 867 ppm, média igual a 32 ppm, mediana igual a 20 ppm e *background* entre 7 e 41 ppm. No solo, foi detectado em 100% das amostras, com concentrações variando entre <1 e 346 ppm, média igual a 23 ppm, mediana igual a 12 ppm e *background* entre 7 e 28 ppm.

Zr - Zircônio

O zircônio é um metal de transição, branco-prateado a azulado, quimicamente semelhante ao titânio. Possui reatividade baixa em temperatura normal, mas quando dividido em seções delgadas pode entrar em combustão espontânea. O íon Zr^{+4} é incompatível com os silicatos formadores de rochas mais comuns durante os processos magmáticos. Com isso, o mesmo é particionado em fases minerais acessórias como zircão, também conhecido como zirconita ou zircônia, e baddeleyíta, ou enriquecido na titanita (MINERAIS DO PARANÁ, 2005). O zircão é um dos minerais mais resistentes ao intemperismo (resistato),

sendo concentrado em sedimentos atuais arenosos do tipo *placers* (KOLJONEN, 1992). A remobilização do Zr pode ocorrer nos processos de metassomatismo e hidrotermalismo relacionados a granitos. O Zr e o Hf, por apresentarem propriedades químicas similares, ocorrem sempre juntos, embora o primeiro seja bem mais abundante. O Zr é enriquecido nas rochas alcalinas (200-1.100 ppm), especialmente em alguns pegmatitos (KOLJONEN, 1992). Seus minerais são a zirconita ($ZrSiO_4$), a baddeleyíta (ZrO_2) e a eudialita [$Na_{15}Ca_6(Fe,Mn)_3Zr_3SiO(O,OH,H_2O)_3$]. É usado em usinas nucleares; na fabricação de joias, devido a sua transparência e fulgor adamantino; como material refratário na fabricação de vidrarias laboratoriais e cerâmica; confecção de ligas supercondutoras com o Nb e para *flash* fotográfico. Não é conhecida a função na fisiologia animal e vegetal. Tanto em condições oxidantes quanto em redutoras, o Zr é imóvel. Os depósitos estão relacionados a depósitos primários e a processos superficiais do tipo *placers* e *paleoplacers* (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). As principais jazidas localizam-se na Austrália, África do Sul, Ucrânia, Índia, EUA, Brasil e China. No Brasil, as reservas encontram-se distribuídas nos estados de AM, RJ, MG, PB, TO e BA (DNPM, 2010). Uma das maiores produtoras de Zr do país é a jazida localizada no município de Mataraca, no litoral da Paraíba.

No levantamento geoquímico, o elemento Zr não foi analisado nas amostras de água de drenagem. No sedimento de fundo, foi detectado em 96% das amostras, com concentrações variando entre <0,5 e 219,0 ppm, média igual a 12,5 ppm, mediana igual a 7,2 ppm e *background* entre 3,4 e 15,2 ppm. No solo, foi detectado em 99% das amostras, com concentrações variando entre <0,5 e 237,0 ppm, média igual a 22,3 ppm, mediana igual a 13,7 ppm e *background* entre 6,1 e 27,1 ppm.

Algumas anomalias não estão relacionadas exclusivamente com poluição. É o caso dos elementos selênio, arsênio, lítio e boro, que ocorrem com valores anômalos nos rios próximos às zonas litorâneas que possuem influência de água marinha e estão relacionados com a salinidade da água local. Já os valores anômalos de mercúrio nas drenagens da região central e noroeste de Ilhabela são os únicos casos que podem ser atribuídos a contaminação ambiental natural, possivelmente devido à presença de rochas alcalinas na região.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados geoquímicos obtidos a partir das análises químicas das águas de drenagem, sedimentos de corrente e solos forneceram um panorama geral das paisagens geoquímicas para todo o estado de São Paulo. Neste capítulo, são apresentadas duas discussões essenciais: uma do ponto de vista geológico, em que é feita a comparação com a geologia e as rochas que compõem o substrato geológico da área; e outra do ponto de vista ambiental, em que é feita a comparação com os limites de referência de qualidade ambiental para a proteção da saúde humana e ambiental estabelecidos por legislações governamentais nacionais e internacionais. As análises são feitas por meio da observação geoespacial e da distribuição geoquímica unielementar comparativa em relação aos valores de *background* geoquímico, definido pela amplitude média das concentrações unielementares, disposta entre o percentil 25 e 75, ou intervalo interquartil (teores de fundo médio). Além disso, são feitas análises da distribuição geoquímica multielementar, com base em análise estatística multivariada (análise fatorial) de modo a definir associações e províncias geoquímicas para todo o estado paulista. Ademais são analisados os valores anômalos acima dos padrões de referência adotados por órgãos e legislações ambientais diversas de modo a estabelecer possíveis locais contaminados, seja antrópica ou naturalmente. Para os elementos com elevada porcentagem de valores qualificados (valores abaixo do limite de detecção), o *background* geoquímico não pôde ser estabelecido.

Água de Superfície

Dos 35 parâmetros químicos obtidos pelas análises de amostras de água de superfície, 13 (Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, Si, Sr, Cl^-, NO_3 e SO_4) apresentam volume de valores quantificados acima de 75% em relação ao total de valores obtidos (grupo 1), 6 (B, Li, Zn, Br, F, PO_4) apresentam resultados entre 25% e 75% dos dados quantificados (grupo 2), e 16 (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, NO_2, Pb, Sb, Se, Sn, Ti, V) apresentam menos de 25% dos dados quantificados (grupo 3).

Entre os parâmetros do primeiro grupo, os resultados em água mostram que os elementos mais abundantes na crosta terrestre são também os de maior concentração nas águas de drenagem (Figura 20). A maior parte dos elementos maiores (cátions) apresentam *background* geoquímico entre 1,29 e 11,9 mg/L (Ca, K, Mg, Na, Si). Os elementos alumínio (Al), ferro (Fe) e manganês (Mn) apresentam concentrações mais baixas, entre 0,02 e 0,95 mg/L. Dois elementos menores, bário (Ba) e estrôncio (Sr), acompanham o padrão de *background* dos maiores, variando entre 0,02 e 0,09. Entre os ânions, a maior concentração é do cloreto (Cl^-) que possui *background* variando entre 1,26 e 8,44 mg/L. Nitrato (NO_3^-) e sulfato (SO_4^{-2}) apresentam *background* geoquímico mais baixo, entre 0,02 e 1,69 mg/L. Os demais íons apresentam volume de valores quantificados abaixo de 75% e a definição do *background* geoquímico não pode ser estabelecida (Figura 21).

Apesar da concentração dos elementos maiores refletirem a composição das rochas mais abundantes na crosta, não se observou, na distribuição geoespacial desses elementos, comportamento que pudesse refletir os domínios tectono-geológicos das áreas drenantes, à exceção do bário, que pode estar indicando uma possível correlação com as rochas que compõem a geologia da área no extremo oeste do estado.

As concentrações de bário nessa região possuem valores ligeiramente acima (0,1 a 0,5 mg/L) do *background* regional do elemento para todo estado e podem estar refletindo a composição química das rochas sedimentares arcosianas do Grupo Bauru, ricas em sílica, feldspatos e cimento carbonático. Essa hipótese é corroborada pela correlação positiva ($r>0,5$) das concentrações de bário e silício nas amostras de águas dessa área e pelos estudos conduzidos por Tavares *et al.* (2015) que aventaram causas geológicas e relação com dissolução da cimentação carbonática dos litotipos que compõem as formações geológicas do Grupo Bauru. Além da fonte natural, existe a hipótese de fontes antropogênicas e poluição ambiental, cuja ocorrência foi detectada em águas subterrâneas na mesma região (TAVARES *et al*., 2015). Segundo os autores, o bário ocorre correlacionado com nitrato e cloreto em águas subterrâneas. No entanto, a área diagnosticada no trabalho citado é restrita em relação à detectada neste levantamento geoquímico, a qual engloba praticamente toda a região mapeada do Grupo Bauru.

Do ponto de vista ambiental, as águas de drenagem no estado apresentam diversas estações com valores acima dos limites estabelecidos pela legislação ambiental estadual, nacional e internacional (Tabela 7), principalmente para elementos menores As, B, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Li, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V, Zn.

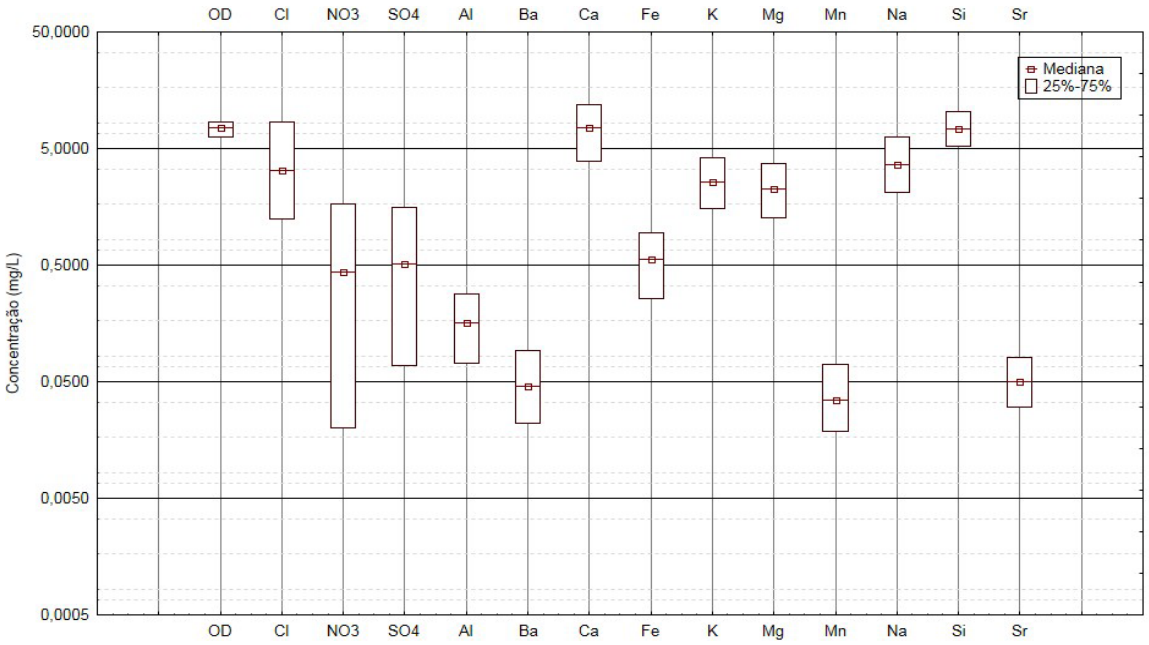


Figura 20 - Variação do background geoquímico para todo o estado de São Paulo para os parâmetros químicos do grupo um, obtidos a partir dos resultados geoquímicos da água de superfície de drenagem. Fonte: elaborado pelo autor.

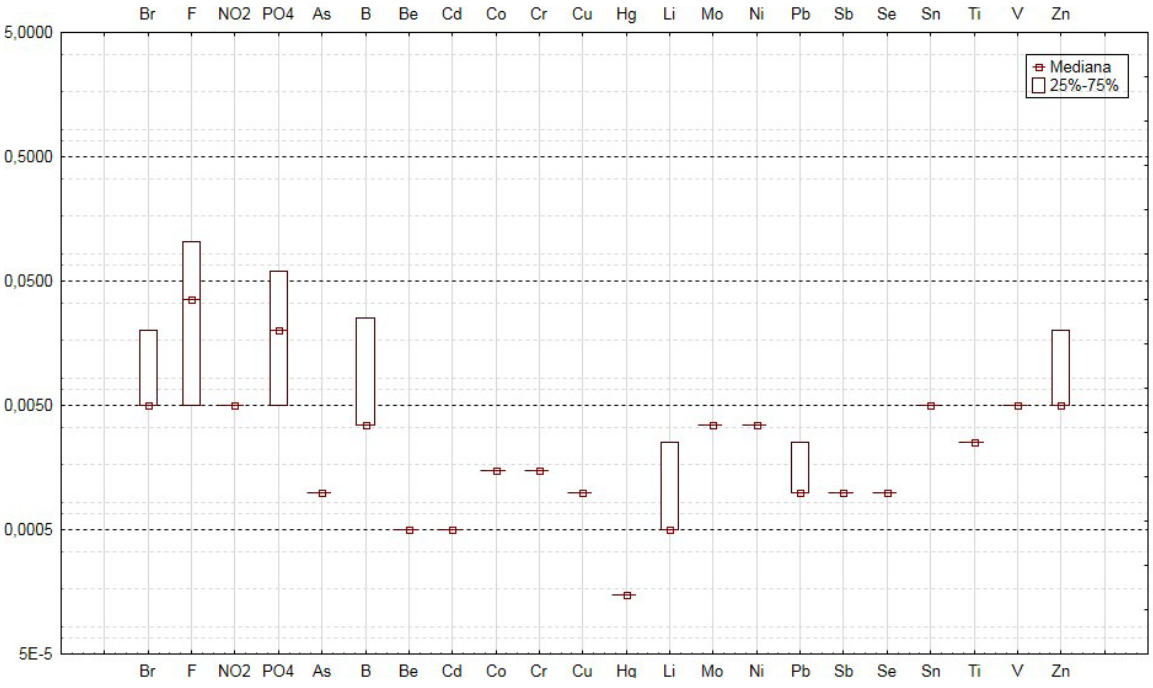


Figura 21 - Variação da concentração geoquímica para todo o estado de São Paulo para os parâmetros químicos do grupo dois e três obtidos a partir dos resultados geoquímicos da água de superfície. O background geoquímico desses elementos não pôde ser estabelecido devido ao viés composicional criado pelo elevado volume de dados qualificados (abaixo do limite de detecção do método analítico). Fonte: elaborado pelo autor.

Entre os elementos menores, os valores anômalos que podem ser atribuídos a poluição antrópica (em desacordo com a legislação), estão localizados, de modo geral, em regiões com alta densidade populacional. É o caso das estações a jusante das regiões metropolitanas de São Paulo, Campinas e Sorocaba (Rios Tietê, Capivari e Sorocaba), os quais apresentam concentrações de diversos parâmetros acima da legislação (Figura 22).

TABELA 7

Limites de referência para a qualidade da água doce e quantidade de estações de coleta com concentrações acima deste limite em todo o estado de São Paulo.

ELEMENTO	UNIDADE	LD - LIMITE DE DETECÇÃO	MEDIDAS >LD	MEDIDAS >LD (%)	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MEDIANA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA
Ag	ppm	0,01	658	46%	< 0,01	7,34	< 0,01	-	-	-
Al	%	0,01	1422	100%	0,03	9,90	0,68	1,05	1,10	1,20
As	ppm	1	635	45%	< 1	85	< 1	-	-	-
Au	ppm	0,1	74	5%	< 0,1	1,2	< 0,1	-	-	-
B	ppm	10	10	1%	< 10	22	< 10	-	-	-
Ba	ppm	5	1421	100%	< 5	1090	54	73	67	4.556,11
Be	ppm	0,1	1141	80%	< 0,1	4,0	0,3	0,5	0,5	0,25
Bi	ppm	0,02	1076	76%	< 0,02	12,65	0,05	-	-	-
Ca	%	0,01	1333	94%	< 0,01	3,43	0,05	0,08	0,14	0,02
Cd	ppm	0,01	877	62%	< 0,01	1,75	0,02	-	-	-
Ce	ppm	0,05	1422	100%	1,38	> 1000	33,91	83,72	146,29	21.399,85
Co	ppm	0,1	1422	100%	0,2	93,1	5,1	7,8	8,5	72,72
Cr	ppm	1	1422	100%	2	541	26	40	47	2.169,45
Cs	ppm	0,05	1416	100%	< 0,05	7,33	0,34	0,76	0,97	0,95
Cu	ppm	0,5	1422	100%	0,6	277,0	9,9	19,3	28,9	835,06
Fe	%	0,01	1422	100%	0,07	15,00	2,15	2,84	2,34	5,46
Ga	ppm	0,1	1422	100%	0,3	85,9	3,8	6,0	6,5	41,96
Ge	ppm	0,1	299	21%	< 0,1	17,5	< 0,1	-	-	-
Hf	ppm	0,05	1344	95%	< 0,05	5,05	0,19	0,33	0,40	0,16
Hg	ppm	0,01	646	45%	< 0,01	1,37	< 0,01	-	-	-
In	ppm	0,02	575	40%	< 0,02	0,95	< 0,02	-	-	-
K	%	0,01	1266	89%	< 0,01	1,08	0,05	0,11	0,14	0,02
La	ppm	0,1	1422	100%	0,6	1413,0	13,7	38,2	81,4	6.633,96
Li	ppm	1	945	66%	< 1	42	2	-	-	-
Mg	%	0,01	1308	92%	< 0,01	0,97	0,05	0,10	0,13	0,02
Mn	ppm	5	1422	100%	16	> 10.000	366	524	577	332.928,54
Mo	ppm	0,05	1316	93%	< 0,05	14,86	0,43	0,62	0,85	0,72
Na	%	0,01	407	29%	< 0,01	1,01	< 0,01	-	-	-
Nb	ppm	0,05	1422	100%	0,09	33,89	1,01	1,48	2,34	5,48
Ni	ppm	0,5	1420	100%	< 0,5	287,4	7,2	10,6	13,6	184,04
P	ppm	50	1149	81%	< 50	> 10.000	196	316	482	232.048,48
Pb	ppm	0,2	1422	100%	0,8	569,5	6,7	10,0	20,0	400,10
Pd	ppm	0,1	18	1%	< 0,1	1,3	< 0,1	-	-	-
Pt	ppm	0,1	7	0%	< 0,1	0,5	< 0,1	-	-	-
Rb	ppm	0,2	1422	100%	0,1	135,0	4,1	12,3	17,3	298,93
Re	ppm	0,1	2	0%	< 0,1	2,5	< 0,1	-	-	-
S	%	0,01	383	27%	< 0,01	2,25	< 0,01	-	-	-
Sb	ppm	0,05	1100	77%	< 0,05	4,22	0,12	-	-	-
Sc	ppm	0,1	1422	100%	< 0,1	29,4	3,1	4,4	4,5	19,98
Se	ppm	1	206	14%	< 1	19	< 1	-	-	-
Sn	ppm	0,3	1399	98%	< 0,3	35,1	1,2	1,6	1,5	2,37
Sr	ppm	0,5	1417	100%	< 0,5	407,2	6,7	10,4	15,8	248,21

TABELA 7 (continuação)

Ta	ppm	0,05	119	8%	< 0,05	0,33	< 0,05	-	-	-
Te	ppm	0,05	237	17%	< 0,05	5,65	< 0,05	-	-	-
Th	ppm	0,1	1419	100%	< 0,1	537,0	4,7	15,6	35,9	1.287,50
Ti	%	0,01	1413	99%	< 0,01	2,18	0,12	0,21	0,25	0,06
Tl	ppm	0,02	792	56%	< 0,02	1,77	0,03	-	-	-
U	ppm	0,05	1413	99%	< 0,05	59,83	0,57	1,65	3,49	12,20
V	ppm	1	1420	100%	< 1	1547	35	80	136	18.381,30
W	ppm	0,1	593	42%	< 0,1	12,5	< 0,1	-	-	-
Y	ppm	0,05	1422	100%	0,16	185,29	4,94	8,11	11,16	124,55
Zn	ppm	1	1415	100%	< 1	867	20	32	44	1.915,17
Zr	ppm	0,5	1363	96%	< 0,5	219,0	7,2	12,5	15,7	247,41

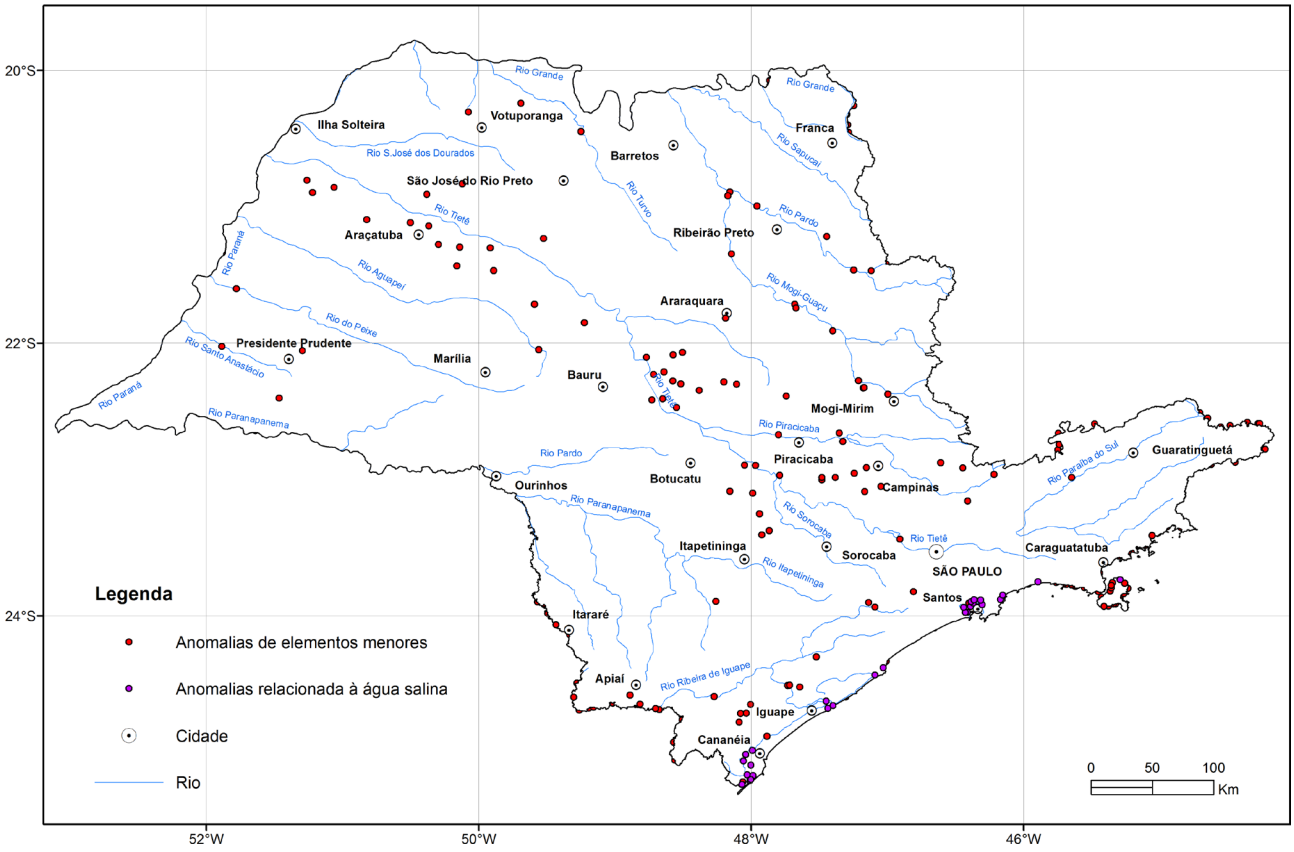


Figura 22 - Estações anômalas em água de drenagem com valores acima do limite estabelecido pela legislação brasileira para qualidade da água doce, para 16 parâmetros (elementos-traços). Fonte: elaborado pelo autor.

As anomalias ambientais também relacionam-se a rios que atravessam cidades menores, como é o caso de Nova Granada, com anomalia de berílio e cádmio no Rio Matão; Conchal, com anomalia de mercúrio no Ribeirão do Ferraz; Jaú, com anomalia de boro no Rio Jaú; Limeira, com anomalia de níquel no Ribeirão do Tatu; Piraçununga, com anomalia de antimônio no Córrego Tijuco Preto; e Cajati, com anomalia de cobalto no Ribeirão Jacupiranguinha. O zinco é elemento com maior número de estações acima dos valores de referência para a qualidade das águas doces, ocorrendo em uma vasta área ao longo de toda a bacia do Tietê. Há ainda algumas anomalias importantes em afluentes dos rios Ribeira de Iguape, Mogi-Guaçu e Pardo.

Sedimento de corrente

Dos 53 parâmetros analisados, 34 elementos (Al, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hf, K, La, Mg, Mn, Mo, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Th, Ti, U, V, Y, Zn, Zr) apresentaram volume de valores quantificados acima de 75% do total de dados obtidos (grupo um); dez elementos (Ag, As, Cd, Hg, In, Li, Na, S, Tl, W) apresentaram resultados entre 25 e 75% de dados qualificados (grupo dois); e nove elementos (Au, B, Ge, Pd, Pt, Re, Se, Ta, Te) apresentaram volume de valores quantificados abaixo de 25% do total de dados (grupo três).

A maioria das distribuições geoquímicas dos sedimentos de corrente ressaltaram os principais compartimentos geológicos da área e permitiram definir províncias geoquímicas consistentes. Mapa (2016) define os principais *backgrounds*, paisagens e compartimentos geoquímicos para todo o estado paulista. Utilizando a base de dados dos elementos com volume de dados quantificados acima de 75%, o autor define o *background* geoquímico para os elementos do grupo um (Figura 23).

Segundo Mapa (2016), os contornos geoquímicos dos elementos maiores refletem essencialmente a divisão geológica entre a Bacia do Paraná e o Complexo Cristalino (embasamento), e a unidade magmática da Bacia do Paraná (Formação Serra Geral). O Complexo Cristalino é destacado pela distribuição do potássio, cálcio e magnésio. Enquanto a amplitude do *background* desses elementos varia entre 0,02% e 0,15% em todo o estado; na área do embasamento, as concentrações estão preferencialmente acima do *background* ou acima de 0,10%. O mesmo ocorre na distribuição de alguns elementos-traços, como Ba, Be, Ce, Cs, La, Pb, Rb, Sr, Th, U e Y. A Formação Serra Geral é destacada pela distribuição do titânio e ferro. Enquanto o *background* no estado desses elementos varia entre 0,06% e 0,25% (Ti) e 1,29% e 3,61% (Fe), na área da Formação Serra Geral as concentrações estão preferencialmente acima do *background* entre 0,26% e 2,18% (Ti) e 3,62% e 14,95% (Fe). O mesmo ocorre na distribuição de alguns elementos-traços, como Co, Cu, Hf, Sc, V e Zr. A distribuição do alumínio, cujo *background* varia entre 0,27% e 1,47% ressalta ambas unidades. Nas duas áreas, os teores de Al variam acima do *background*, entre 1,48% e 9,9%. Os elementos Ga, Nb, Sn e Zn também seguem o comportamento similar ao do Al, destacando as duas áreas. Os demais elementos apresentam volume de valores quantificados abaixo de 75% e a definição do *background* geoquímico não pôde ser estabelecida (Figura 24).

Mapa (2015) discorre, ainda, sobre técnicas de tratamento estatístico multivariado. O autor utiliza 24 elementos químicos (Al, Ba, Ce, Cs, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, La, Mn, Nb, Ni, Pb, Rb, Sc, Sr, Th, Ti, U, V, Y, Zn e Zr) para identificar as assinaturas geoquímicas dos principais compartimentos geológicos do estado. Baseado em análises bivariadas (correlação linear entre as variáveis) e multivariadas (análise fatorial), são descritas duas associações geoquímicas principais: U-Th-La-Ce-Y-Rb-Cs (Fator 1) e Co-Cu-Fe-V-Sc-Ni-Mn-Ba (Fator 2). As associações ressaltam, de modo geral, duas principais províncias geoquímicas: Província Geoquímica de Rochas Ácidas e Província Geoquímica de Rochas Básicas, as quais refletem a composição das rochas do embasamento (granitos do Complexo Cristalino) e da província magmática do Paraná (basaltos da Formação Serra Geral). O mapa da distribuição de escores fatoriais obtidos para o Fator 1 (Figura 25A) e Fator 2 (Figura 25B), cuja distribuição mostra a associação geoquímica correspondente ao fator, evidenciam os altos escores fatoriais e os limites das províncias geoquímicas citadas. De modo geral, a associação geoquímica do Fator 1 (Província Geoquímica de Rochas Ácidas) sugere relação com a presença de minerais como zircão e monazita (Ce-La-Y), biotita (U-Th-Rb-Cs) e feldspatos potássicos (Rb-Cs), sendo esses últimos os principais minerais formadores de rochas graníticas. Já a associação geoquímica do Fator 2 (Província Geoquímica de Rochas Básicas) sugere a ocorrência de minerais como piroxênios, olivina e anfibólios, comumente encontrados na composição de rochas básicas.

As associações geoquímicas multivariadas refletem, ainda, paisagens geoquímicas de possíveis unidades geológicas não cartografadas nos mapas geológicos do estado produzidos por Bistrich *et al.* (1981) e Perrota *et al.* (2006). É o caso de uma vasta área no nordeste do estado, cuja distribuição de escores multielementares (fatores 1 e 2) ressalta um compartimento geoquímico não associado diretamente às rochas em superfície. Esse compartimento geoquímico é mostrado com clareza na distribuição unielementar do elemento cromo, cujo limite, a grosso modo, é definido pelo lineamento do Rio Tietê. Ele separa unidades geoquímicas distintas, uma a norte e a outra a sul, da Formação Bauru. Mapa (2015) aventa para uma província de rochas de natureza básico-alcalina não mapeadas na região.

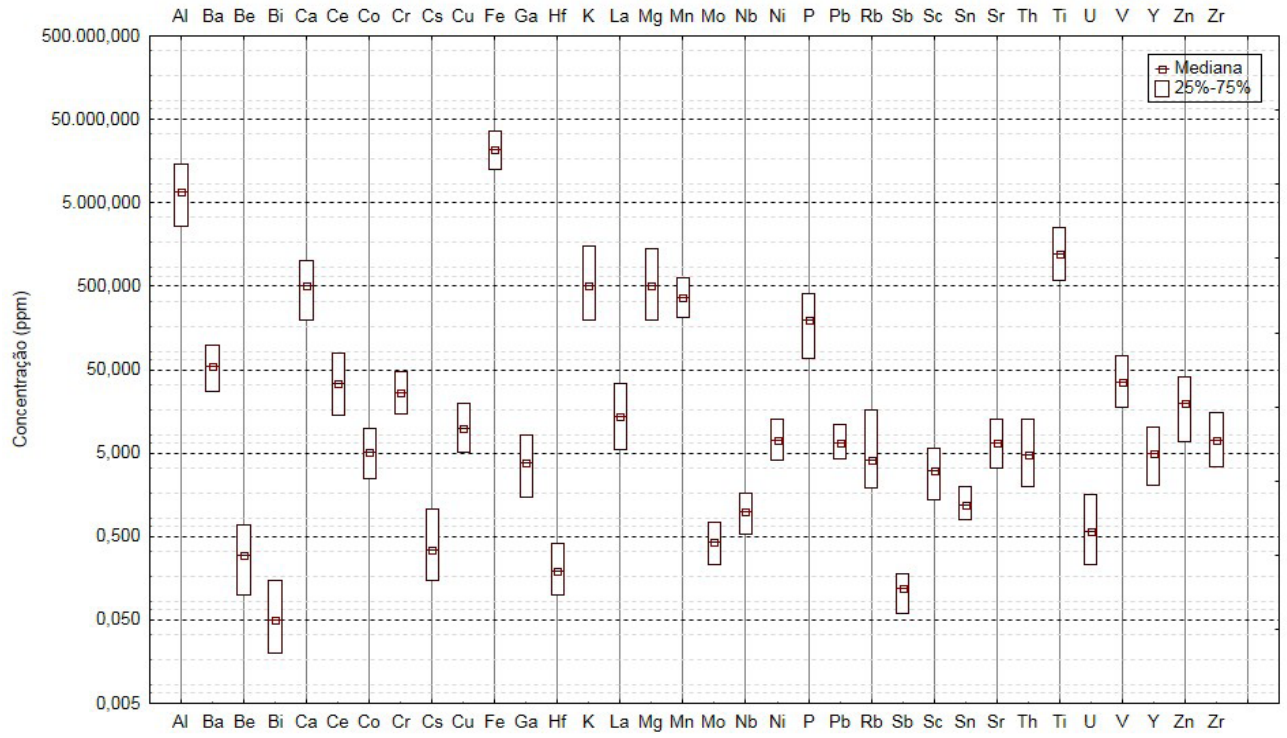


Figura 23 - Variação do background geoquímico para todo o estado de São Paulo para os parâmetros químicos do grupo um, obtidos a partir dos resultados geoquímicos de sedimentos de corrente de drenagem. Fonte: modificado de Mapa (2015).

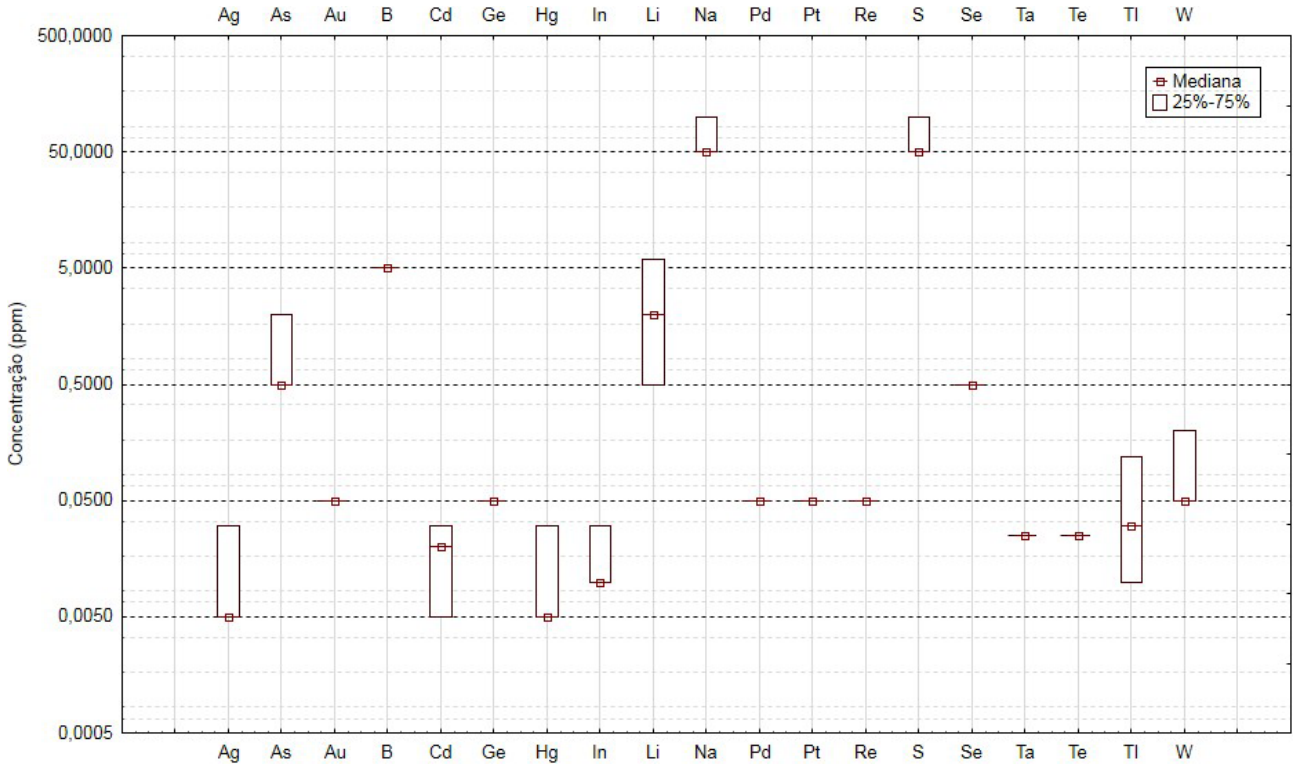


Figura 24 - Variação da concentração geoquímica para todo o estado de São Paulo, para os parâmetros químicos dos grupos dois e três obtidos a partir dos resultados geoquímicos de sedimentos de corrente. Fonte: elaborado pelo autor.

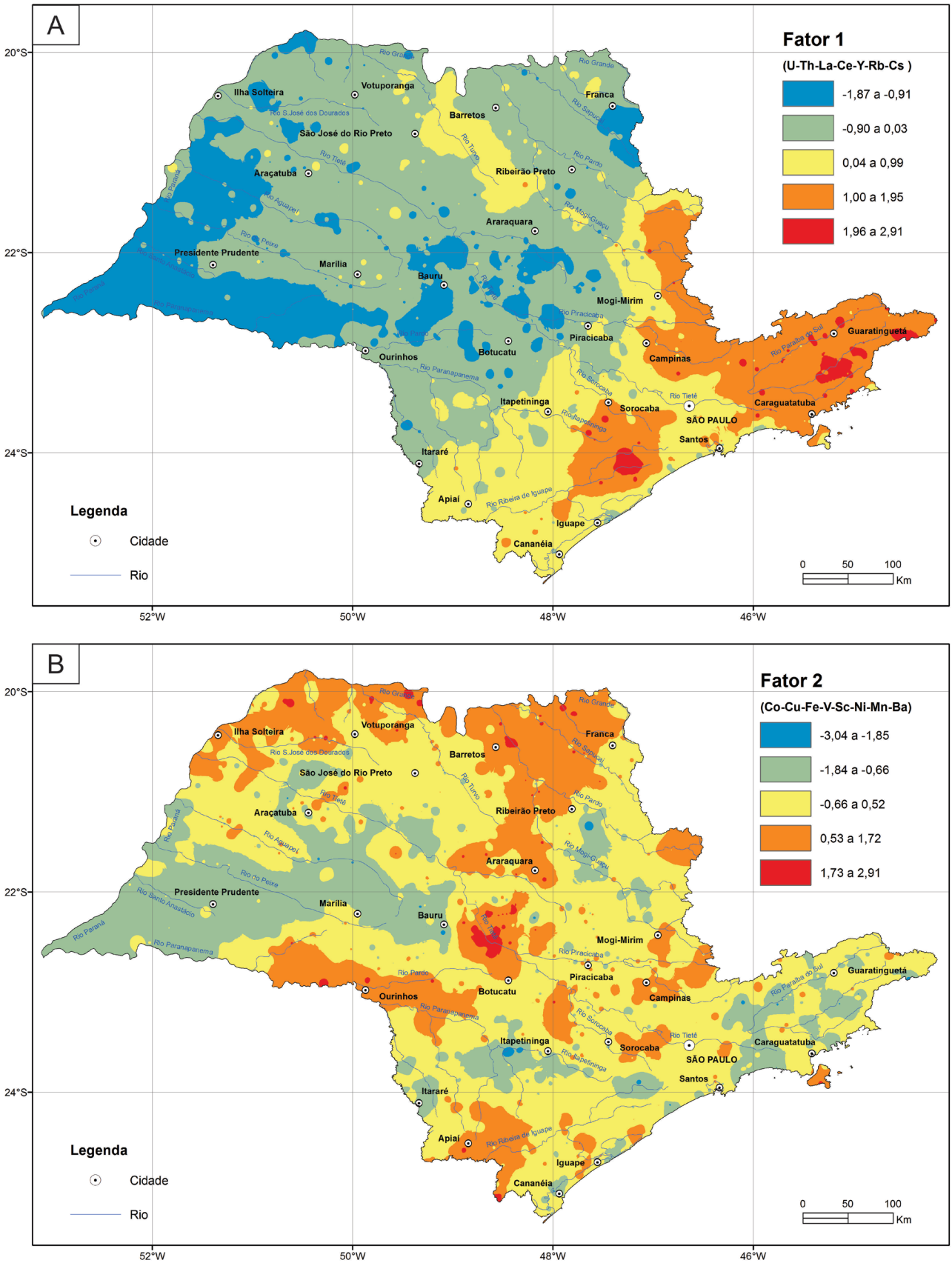


Figura 25 - Mapa geoquímico multivariado de escores fatoriais para todo o estado de São Paulo. (A): associação geoquímica U-Th-La-Ce--Y-Rb-Cs (Fator 1); (B): associação geoquímica CoCu-Fe-V-Sc-Ni-Mn-Ba (Fator 2). Fonte: modificado de Mapa (2015).

Embora esse levantamento geoquímico seja caracterizado como regional (baixa densidade) e o estado possua vocação predominante à mineração de agregados para a construção civil (areia, brita, calcário) e água mineral, os dados geoquímicos de sedimentos de corrente permitem indicar possíveis alvos para prospecção mineral de metais. Os dados de elementos nobres (Au, Pd, Pt) e traços indicativos de fonte de metais de base (Cu, Pb, Zn) e farejadores (Ag, Bi, Sb, Mo, Hg, Ta, W) indicam áreas de interesse para a área de recursos minerais metálicos no estado. Além de regiões amplamente conhecidas, como o Vale do Ribeira, com anomalias de chumbo e zinco, e Atibaia, com anomalias de cobre e ouro, destacam-se as regiões do norte, noroeste e oeste paulista, com anomalias de Ag (Barretos), Au (Araraquara, Barretos, Fernandópolis), Bi (São José do Rio Preto), Hg (Marília), Ge (Arujá), Pd (Botucatu), Mo (Itapetininga), Ta (Votuporanga), W (Franca), entre outras. A maior parte dessas anomalias está associada às rochas siliciclásticas da Bacia do Paraná e corroboram com a hipótese de uma província de rochas de natureza básico-alcalina não mapeadas no noroeste do estado de São Paulo.

Do ponto de vista ambiental, os sedimentos de corrente apresentam poucas estações acima dos valores dos limites estabelecidos pela legislação ambiental estadual, nacional e internacional (Tabela 8). Essa baixa quantidade de estações está relacionada basicamente à quantidade de elementos que possuem valores de referência ambiental. Apenas dez elementos (Ag, As, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn) possuem valores estabelecidos por legislações ambientais, sendo três (Ag, Fe, Mn) estabelecidos por órgãos internacionais. Embora muitas anomalias ambientais possam refletir a composição original do substrato rochoso a montante, uma vez que a maioria dos valores de referência ambiental é muito próxima aos valores de referência da crosta superior (Tabela 8), algumas são excessivamente anômalas e merecem destaque e devida atenção. Assim como observado nas anomalias em água de drenagem, os valores anômalos em sedimentos de corrente, que podem ser atribuídos à poluição antrópica (em desacordo com a legislação), estão localizados, de modo geral, em regiões com alta densidade populacional, como as regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas (rios Tietê e Capivari). A maioria das anomalias de Cd, Hg, Pb, Zn pode ser interpretada como poluição antrópica, em função das restritas regiões de ocorrência. É o caso das anomalias no estuário de Santos, com concentrações anômalas de Hg e Pb, e as conhecidas anomalias de chumbo na região do Rio Ribeira de Iguape (CUNHA, 2003; LOPES JUNIOR, 2007). Contudo, a estação com maior poluição está localizada no Rio Tietê, a jusante das regiões metropolitanas citadas. Nesse local, as concentrações anômalas para os elementos As, Cd, Cr, Cu, Pb e Zn estão muito acima do limite de referência estabelecido pela legislação, e o registro de 867 ppm de zinco indica evidente relação com contaminação antrópica.

TABELA 8

Limites de referência para a qualidade dos sedimentos em água doce e quantidade de estações de coleta com concentrações acima deste limite em todo o estado de São Paulo.

SÍMBOLO	PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR DE REFERÊNCIA PARA CROSTA TERRESTRE SUPERIOR	VALOR DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE EM ÁGUA DOCE (NACIONAL)	ESTAÇÕES EM DESACORDO
Ag	Prata	ppb	53	500*	0
Al	Alumínio	%	7,74		
As	Arsênio	ppm	4,8	5,9	65
Au	Ouro	ppb	1,5		
B	Boro	ppm	17		
Ba	Bário	ppm	624		
Be	Berílio	ppm	2,1		
Bi	Bismuto	ppm	0,16		
Cd	Cádmio	ppm	0,09	0,6	5
Ce	Cério	ppm	63		
Co	Cobalto	ppm	17,3		
Cr	Cromo	ppm	92	37,3	460
Cs	Césio	ppm	4,9		

TABELA 8 (continuação)

SÍMBOLO	PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR DE REFERÊNCIA PARA CROSTA TERRESTRE SUPERIOR	VALOR DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE EM ÁGUA DOCE (NACIONAL)	ESTAÇÕES EM DESACORDO
Cu	Cobre	ppm	28	35,7	183
Fe	Ferro	%	3,09	2 *	764
Ga	Gálio	ppm	17,5		
Ge	Germânio	ppm	1,4		
Hf	Háfnio	ppm	5,3		
Hg	Mércurio	ppm	0,05	0,17	32
In	Índio	ppm	0,056		
K	Potássio	%	2,87		
La	Lântanio	ppm	31		
Li	Lítio	ppm	21		
Mg	Magnésio	%	1,35		
Mn	Manganês	ppm	527	460*	550
Mo	Molibdênio	ppm	1,1		
Na	Sódio	%	2,57		
Nb	Nióbio	ppm	12		
Ni	Níquel	ppm	47		
P	Fósforo	ppm	665		
Pb	Chumbo	ppm	17	35	30
Pd	Paládio	ppb	0,52		
Pt	Platina	ppb	0,5		
Rb	Rubídiuo	ppm	84		
Re	Rênio	ppb	0,198		
S	Enxofre	ppm	621		
Sb	Antimônio	ppm	0,4		
Sc	Escândio	ppm	14		
Se	Selênio	ppm	0,09		
Sn	Estanho	ppm	2,1		
Sr	Estrôncio	ppm	320		
Ta	Tantâlo	ppm	0,9		
Te	Telúrio	ppm	0,04		
Th	Tório	ppm	10,5		
Ti	Titânio	%	0,31		
Tl	Tálio	ppm	0,9		
U	Urânio	ppm	2,7		
V	Vanádio	ppm	97		
W	Tungstênio	ppm	1,9		
Y	Ítrio	ppm	21		
Zn	Zinco	ppm	67	123	34
Zr	Zircônio	ppm	193		

* valor de referência internacional

Solo

Dos 53 parâmetros químicos analisados nos solos, 37 elementos (Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hf, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Th, Ti, U, V, Y, Zn, Zr) apresentam volume de valores quantificados acima de 75% do total de dados obtidos (grupo um); sete elementos (Ag, Cd, Hg, S, Te, Tl, W) apresentaram resultados entre 25 e 75% de dados qualificados (grupo dois) e nove parâmetros (Au, B, Ge, Na, Pd, Pt, Re, Se, Ta) apresentaram volume de valores quantificados abaixo de 25% do total de dados (grupo três).

No contexto geológico, a distribuição geoquímica unielementar nos solos, de maneira geral, segue o mesmo comportamento das distribuições em sedimentos de corrente e ressaltam os principais compartimentos geológicos da área. Entre os parâmetros do grupo um, as concentrações acima do *background* geoquímico estabelecido em solos (Figura 26), para os elementos Cs, K, Li, Mg, Pb, Rb, S, Th e U, ressaltam as rochas ácidas do Complexo Cristalino, enquanto as obtidas em Cu, Fe, Hf, In, P, Sc, Ti, V, Zr destacam as rochas básicas da Formação Serra Geral. Dentre as concentrações dos elementos dos grupos dois e três (Figura 27), destacam-se Hg e Tl, cujos padrões de distribuição geoquímica para todo o estado de São Paulo ressaltam as rochas do Complexo Cristalino. Os demais elementos possuem distribuição errática em relação ao substrato rochoso e à região anômala, sendo necessário avaliar caso a caso. O *background* geoquímico desses elementos não pôde ser estabelecido devido ao viés composicional criado pelo elevado volume de dados qualificados (abaixo do limite de detecção do método analítico).

Do ponto de vista ambiental, os solos apresentam 22 elementos com valores de referência estabelecidos pelas legislações ambientais estadual, nacional e internacional. Algumas estações apresentam concentrações acima dos valores de referência (Tabela 9), mas nenhuma dessas anomalias foi interpretada como produto da poluição antrópica. De fato, a maioria delas reflete a formação natural dos solos em áreas onde o *background* local é maior que o estabelecido para todo o estado. É o caso do S, Se e Sn, que indicam relação com rochas do Complexo Cristalino, e Cr, Cu e V, que indicam relação com as rochas da Formação Serra Geral.

TABELA 9

Limites de referência para a qualidade dos solos e quantidade de estações de coleta de solo que apresentaram concentrações acima deste limite em todo o estado de São Paulo.

SÍMBOLO	PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR DE REFERÊNCIA PARA CROSTA TERRESTRE SUPERIOR	VALOR DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE EM SOLOS	ESTAÇÕES EM DESACORDO COM A LEGISLAÇÃO
Ag	Prata	ppb	53	2000	0
Al	Alumínio	%	7,74		
As	Arsênio	ppm	4,8	15	4
Au	Ouro	ppb	1,5		
B	Boro	ppm	17	0,5*	0
Ba	Bário	ppm	624	120	28
Be	Berílio	ppm	2,1	4	2
Bi	Bismuto	ppm	0,16		
Ca	Cálcio	%	2,94		
Cd	Cádmio	ppm	0,09	1,3	0
Ce	Cério	ppm	63		
Co	Cobalto	ppm	17,3	25	17
Cr	Cromo	ppm	92	75	70
Cs	Césio	ppm	4,9		
Cu	Cobre	ppm	28	60	42
Fe	Ferro	%	3,09		
Ga	Gálio	ppm	17,5		
Ge	Germânio	ppm	1,4		
Hf	Háfnio	ppm	5,3		

TABELA 9 (continuação)

SÍMBOLO	PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR DE REFERÊNCIA PARA CROSTA TERRESTRE SUPERIOR	VALOR DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE EM SOLOS	ESTAÇÕES EM DESACORDO COM A LEGISLAÇÃO
Hg	Mércurio	ppm	0,05	0,5	0
In	Índio	ppm	0,056		
K	Potássio	%	2,87		
La	Lântanio	ppm	31		
Li	Lítio	ppm	21	2*	183
Mg	Magnésio	%	1,35		
Mn	Manganês	ppm	527		
Mo	Molibdênio	ppm	1,1	5	0
Na	Sódio	%	2,57		
Nb	Nióbio	ppm	12		
Ni	Níquel	ppm	47	30	13
P	Fósforo	ppm	665		
Pb	Chumbo	ppm	17	72	0
Pd	Paládio	ppb	0,52		
Pt	Platina	ppb	0,5		
Rb	Rubídiuo	ppm	84		
Re	Rênio	ppb	0,198		
S	Enxofre	ppm	621	500*	8
Sb	Antimônio	ppm	0,4	2	0
Sc	Escândio	ppm	14		
Se	Selênio	ppm	0,09	1,2	9
Sn	Estanho	ppm	2,1	5*	11
Sr	Estrôncio	ppm	320		
Ta	Tantâlo	ppm	0,9		
Te	Telúrio	ppm	0,04		0
Th	Tório	ppm	10,5		
Ti	Titânio	%	0,31		
Tl	Tálio	ppm	0,9	1*	0
U	Urânio	ppm	2,7	23*	0
V	Vanádio	ppm	97	130*	89
W	Tungstênio	ppm	1,9		
Y	Ítrio	ppm	21		
Zn	Zinco	ppm	67	86	12
Zr	Zircônio	ppm	193		

* valor de referência internacional

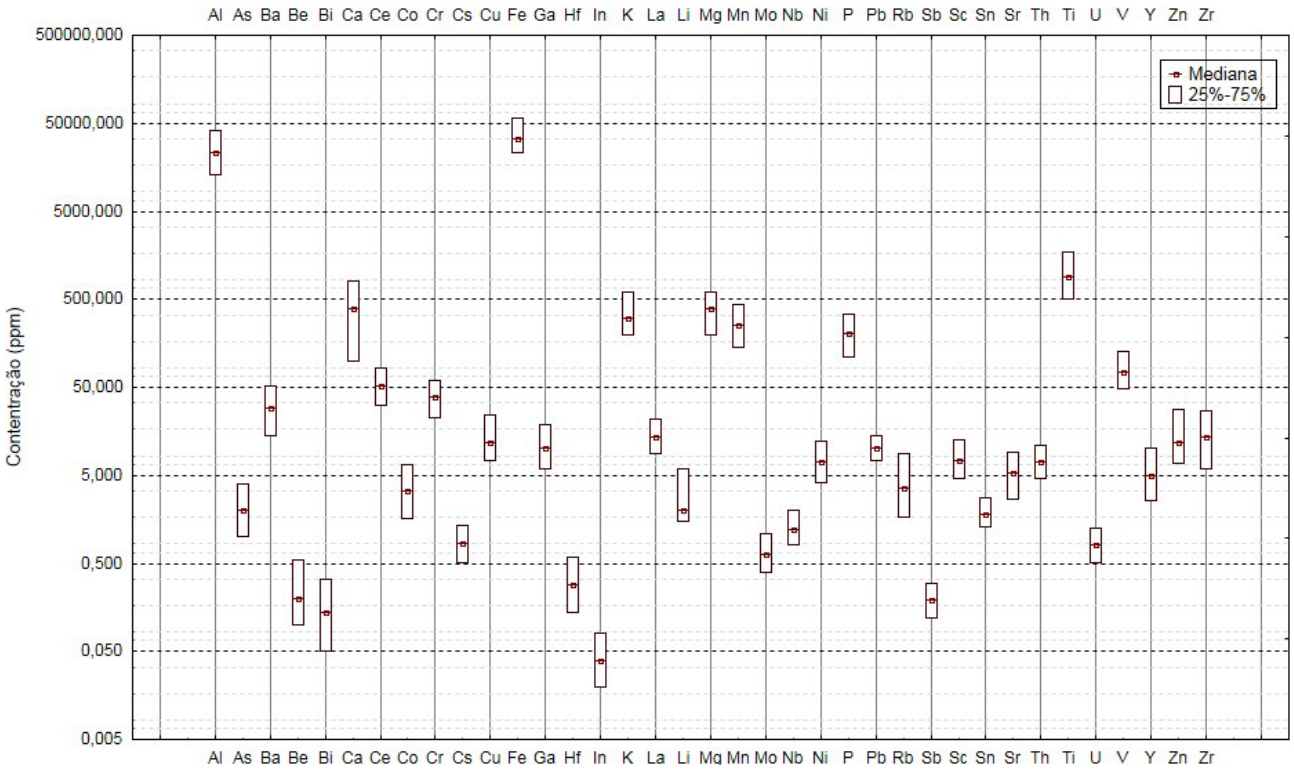


Figura 26 - Variação do background geoquímico para todo o estado de São Paulo para os parâmetros químicos do grupo um, obtidos a partir dos resultados geoquímicos de solos. Fonte: elaborado pelo autor.

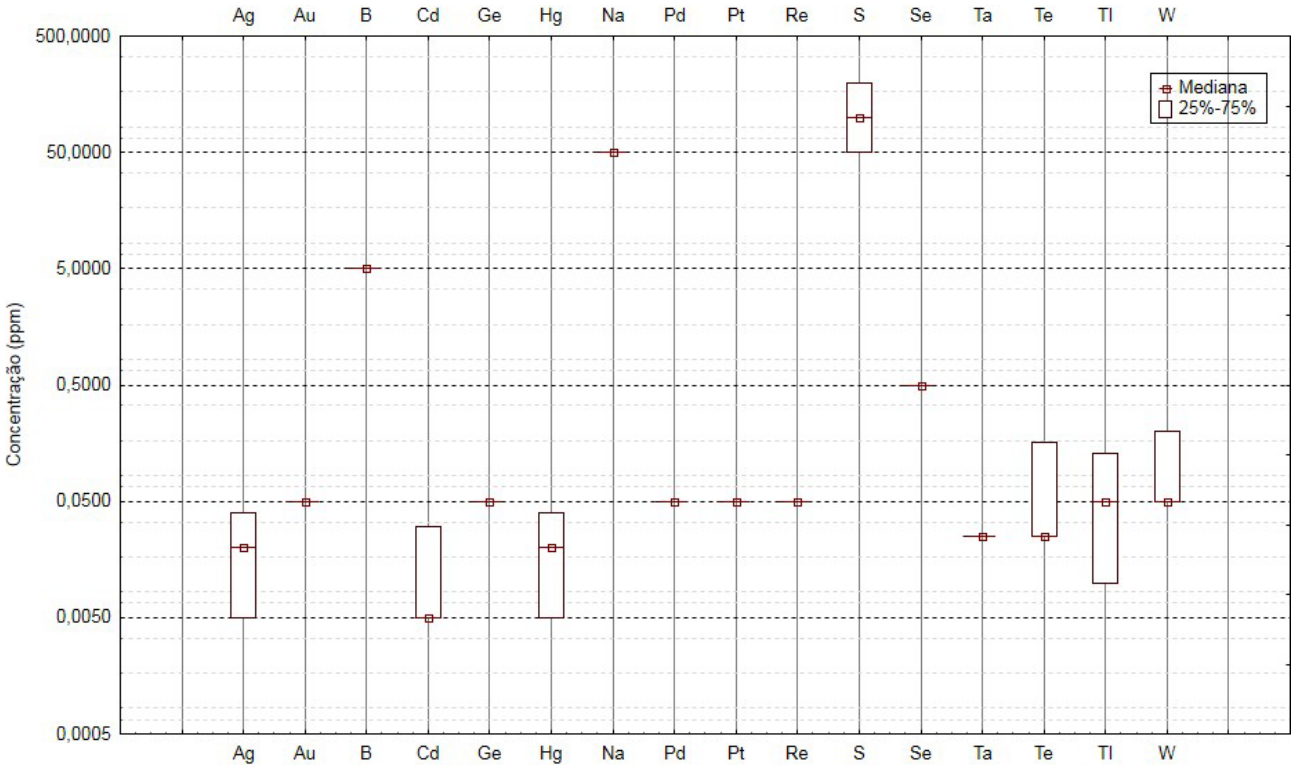


Figura 27 - Variação da concentração geoquímica para todo o estado de São Paulo para os parâmetros químicos do grupo dois e três obtidos a partir dos resultados geoquímicos de solo. Fonte: elaborado pelo autor.

Assim como nos sedimentos, os solos podem indicar áreas de interesse para a pesquisa geológica e mineral. Na tentativa de extrair mais informações dos resultados de solo, uma análise estatística multivariada preliminar, com os mesmos 24 elementos analisados em sedimentos por Mapa (2015), mostram associações geoquímicas consistentes e áreas de interesse geológico no oeste do estado.

A análise multivariada fatorial mostra quatro fatores principais explicando 75% da variabilidade dos dados geoquímicos logtransformados: Fator 1, com a associação elementar Cu-Co-V-Mn-Fe-Ni-Ti; Fator 2, com a associação elementar Ba-Rb-La; Fator 3, com a associação elementar Al-Ga-Th-U; e Fator 4, com a associação elementar Nb-Cr.

A distribuição dos escores fatoriais multivariados nos solos (Figura 28) mostram de forma consistente as mesmas províncias geoquímicas diagnosticadas por Mapa (2015) nos sedimentos de corrente, com o primeiro fator relacionando-se à Província Geoquímica de Rochas Básicas e o segundo e terceiro fatores à Província Geoquímica de Rochas Ácidas. Já a distribuição dos escores fatoriais do Fator 4, evidencia uma Província Geoquímica de Rochas Básico-Alcalinas aventada pelo autor na região noroeste do estado, com o mesmo limite disposto ao longo do lineamento no qual se encaixa o maior rio do estado, o Rio Tietê, de modo que essa área pode ser indicada para futuros programas de mapeamento geológico e prospecção mineral de detalhe no estado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento geoquímico de baixa densidade no estado de São Paulo trouxe dados inéditos e de suma importância para todo o território paulista. De modo geral, foi possível identificar novas áreas para futuras pesquisas, tanto do ponto de vista de meio-ambiente, com possíveis fontes de poluição, quanto da prospecção mineral, com possíveis alvos para a prospecção de metais. Os resultados geoquímicos de todas as matrizes geológicas analisadas (água, sedimento de drenagem e solo) mostram forte correlação com o substrato geológico da área e apontam a necessidade de ampliação do conhecimento geológico básico do território. Os dados para cada parâmetro geoquímico adquiridos neste levantamento constituem uma base empírica que poderá ser utilizada em estudos posteriores, uma vez que a discussão contida neste Atlas não encerra a necessidade de maiores detalhes e novas interpretações e diagnósticos.

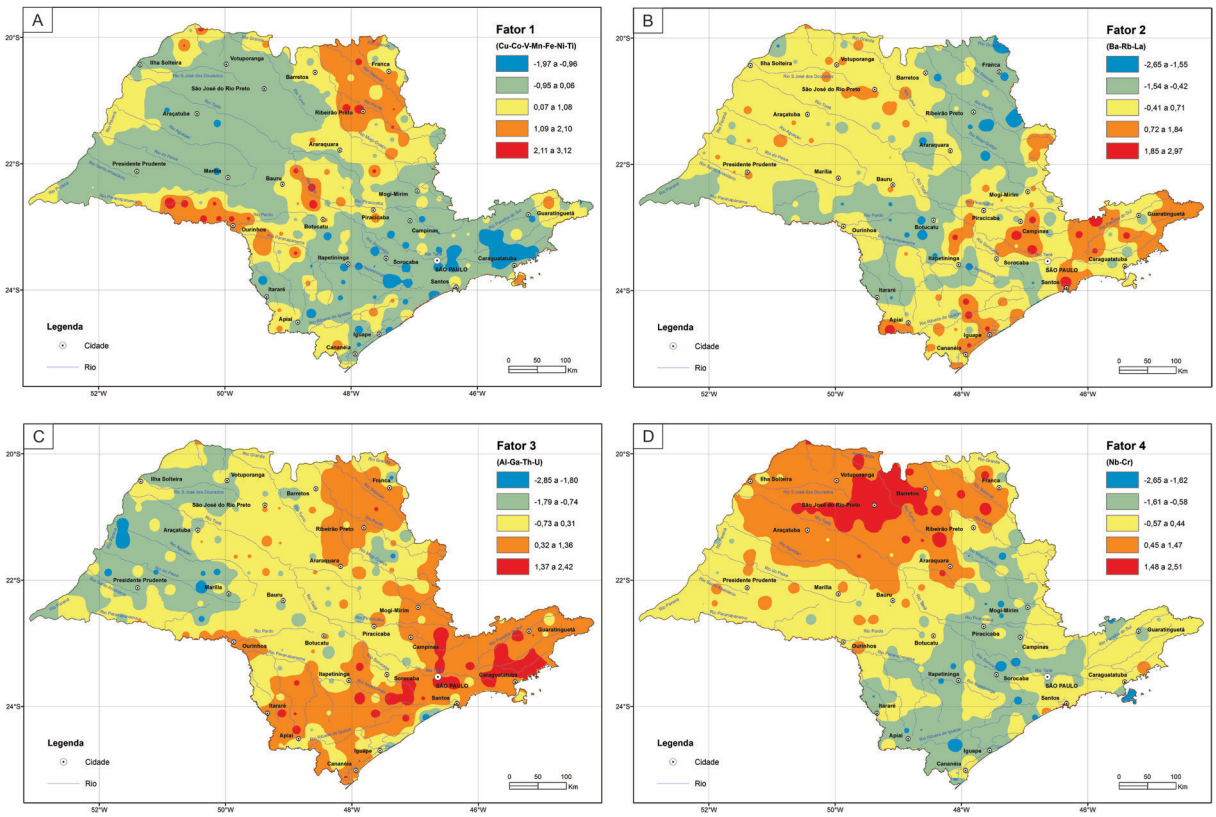
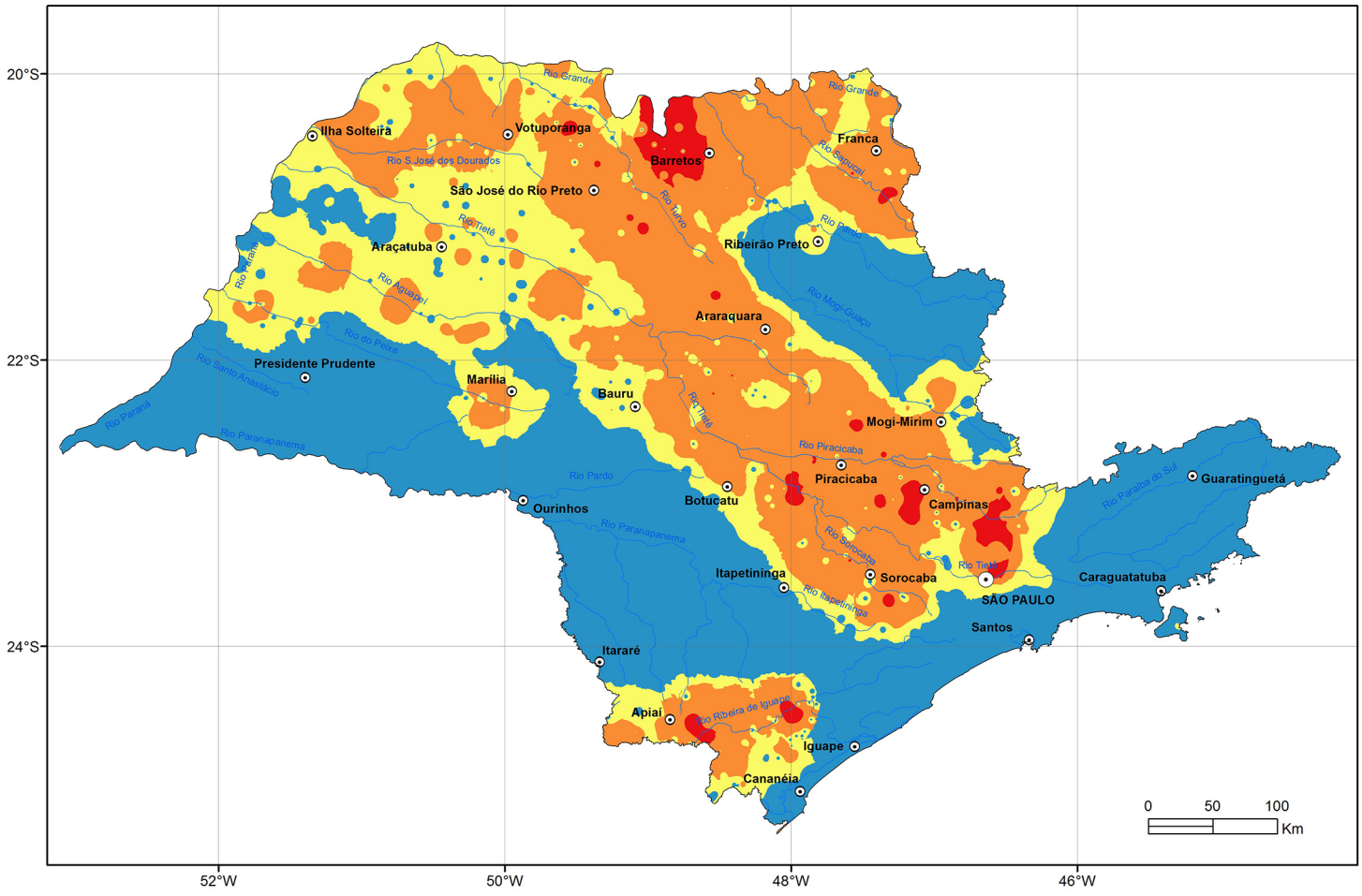


Figura 28 - : Mapa de escores fatoriais para solos, ressaltando as principais províncias geoquímicas no estado.
Fonte: elaborado pelo autor

MAPAS GEOQUÍMICOS

Prata Ag Sedimentos

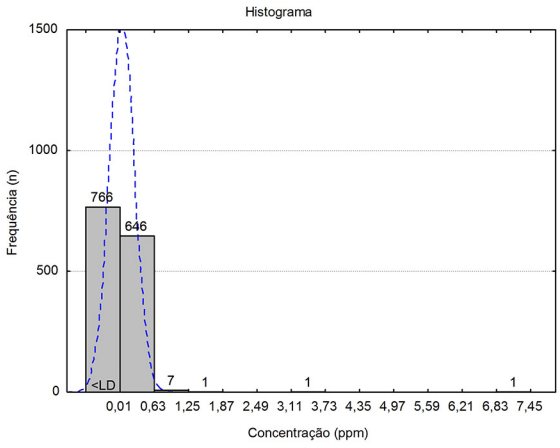


Legenda

- Cidade
- Rio

Prata (ppm)

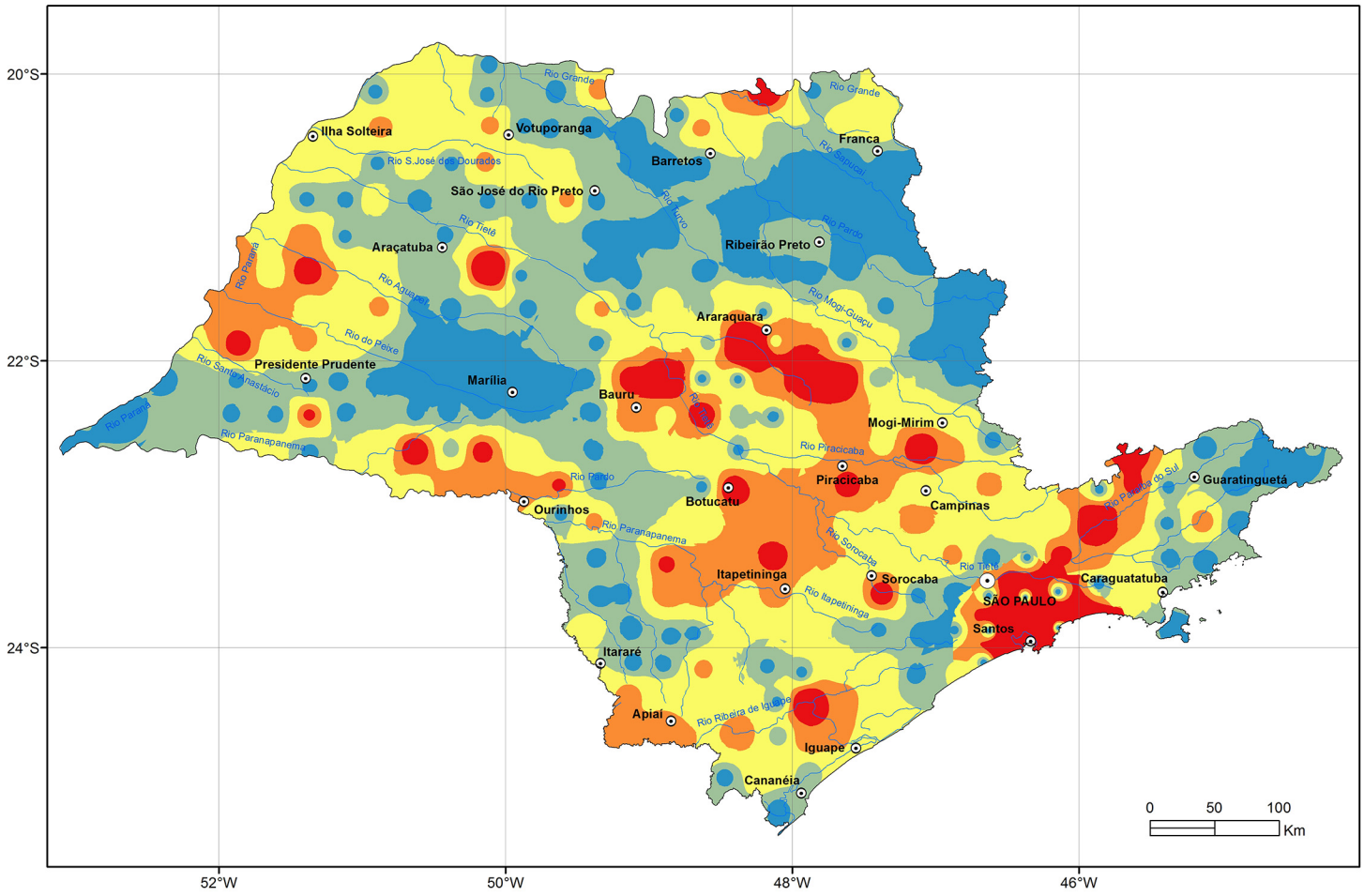
- <0,01
- 0,01 a 0,03
- 0,04 a 0,21
- 0,22 a 7,34



Estatística Descritiva

Elemento	Ag
Limite de detecção (LD)	0,01 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	656
Valor mínimo	<0,01
Valor máximo	7,34
Média	0,04
Mediana	<0,01
Percentil 75	0,03
Percentil 90	0,06
Percentil 98	0,21
Referência nacional	-
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,50
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	0,053

Prata Ag Solos

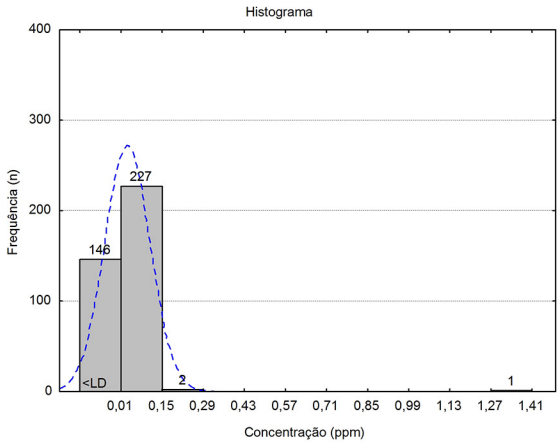


Legenda

- Cidade
- Rio

Prata (ppm)

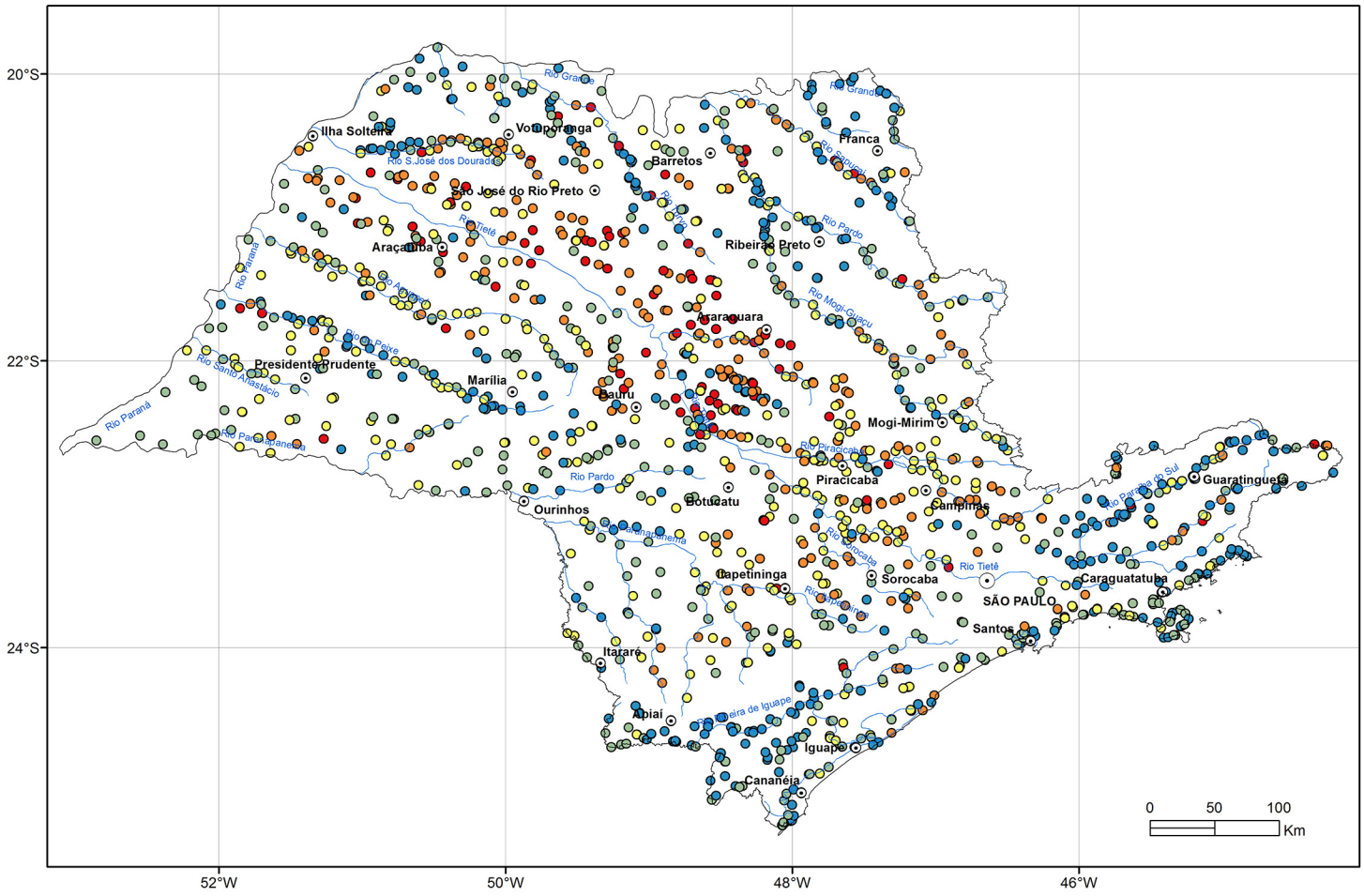
- <0,01
- 0,01 a 0,02
- 0,03 a 0,04
- 0,05 a 0,06
- 0,07 a 1,41



Estatística Descritiva

Elemento	Ag
Limite de Detecção (LD)	0,01 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	230
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	1,41
Média	0,03
Mediana	0,02
Percentil 75	0,04
Percentil 90	0,06
Percentil 98	0,11
Referência nacional (CETESB, 2014)	2
Referência internacional (Buchman, 2008)	2
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	0,053

Alumínio Al Águas

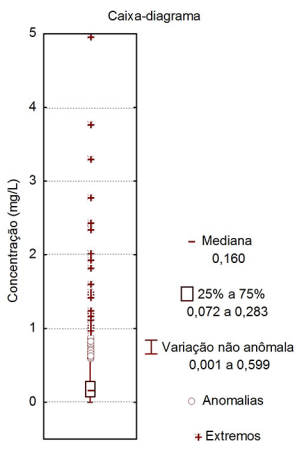


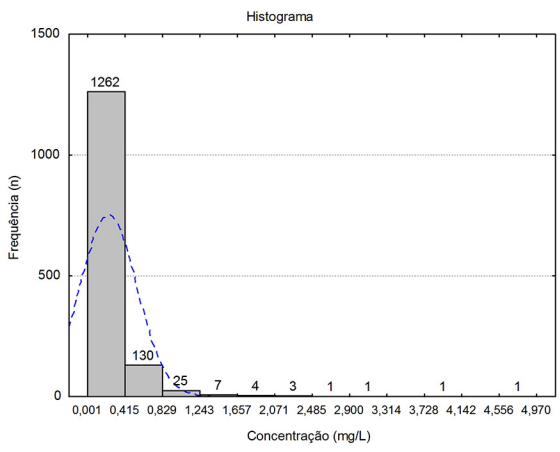
Alumínio (mg/L)

- 0,001 a 0,072
- 0,073 a 0,160
- 0,161 a 0,283
- 0,284 a 0,599
- 0,600 a 4,970

Legenda

- Cidade
- Rio

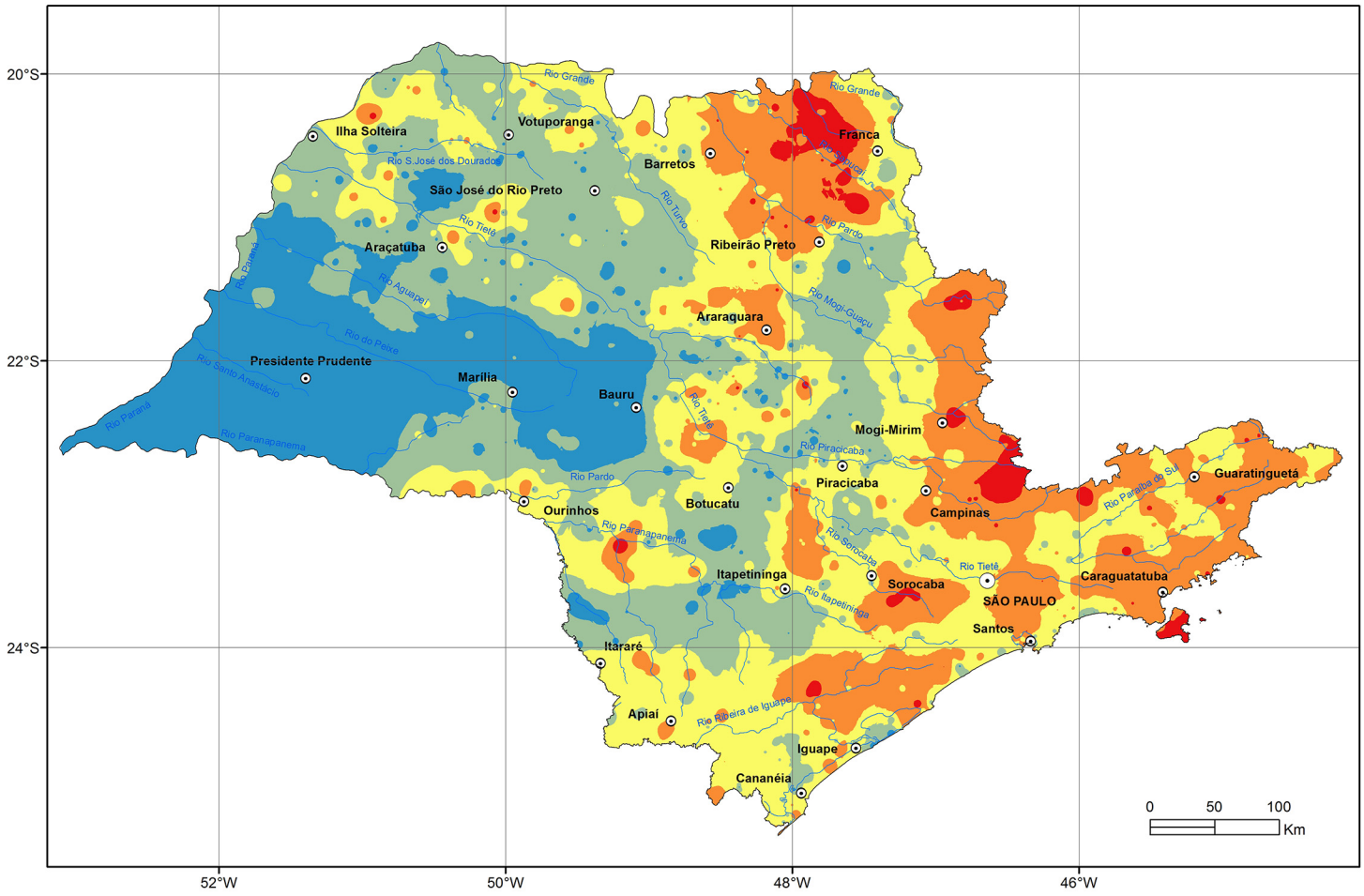




Estatística Descritiva

Elemento	Al
Limite de Detecção (LD)	0,003 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	1296
Valor Mínimo	<0,003
Valor Máximo	4,970
Mediana	0,160
Média	0,230
Variância	0,099
Desvio Padrão	0,314
Coeficiente de Variação	1,4
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,1
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,087
Referência consumo humano (BRASIL, 2008)	0,2

Alumínio Al Sedimentos

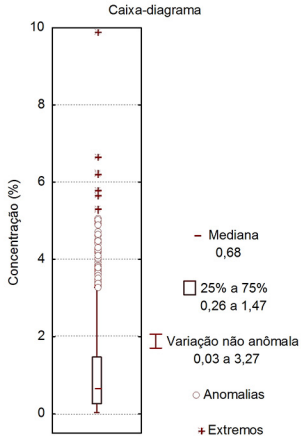


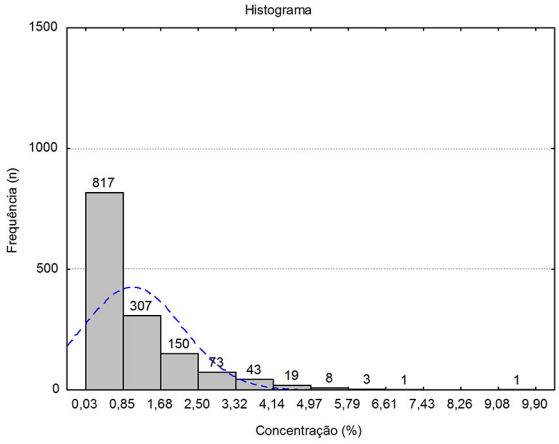
Alumínio (%)

- 0,03 - 0,26
- 0,27 - 0,68
- 0,69 - 1,47
- 1,48 - 3,28
- 3,29 - 9,90

Legenda

- Cidade
- Rio

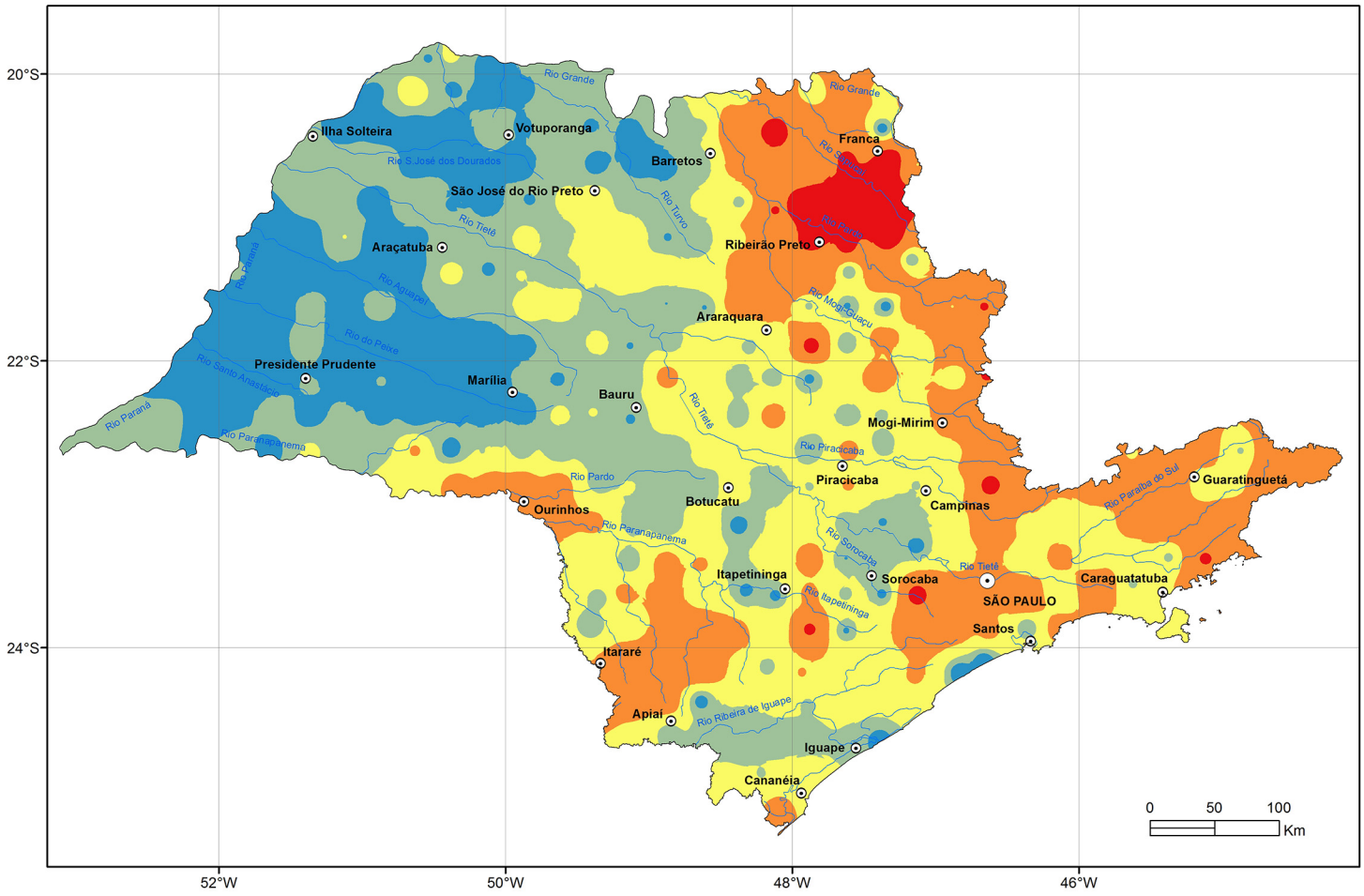




Estatística Descritiva

Elemento	Al
Limite de detecção (LD)	0,01 (%)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1422
Valor mínimo	0,03
Valor máximo	9,90
Média	1,05
Mediana	0,68
Variância	1,20
Desvio padrão	1,10
Coeficiente de variação	1,0
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Wedepohl, 1995)	7,74

Alumínio Al Solos

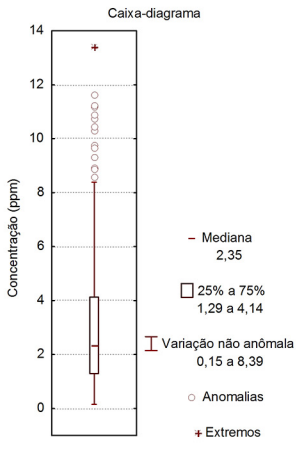


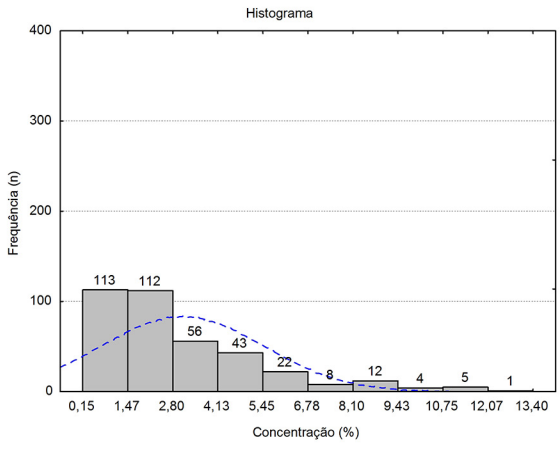
Alumínio (%)

- 0,15 a 1,29
- 1,30 a 2,35
- 2,36 a 4,14
- 4,15 a 8,42
- 4,43 a 13,40

Legenda

- Cidade
- Rio

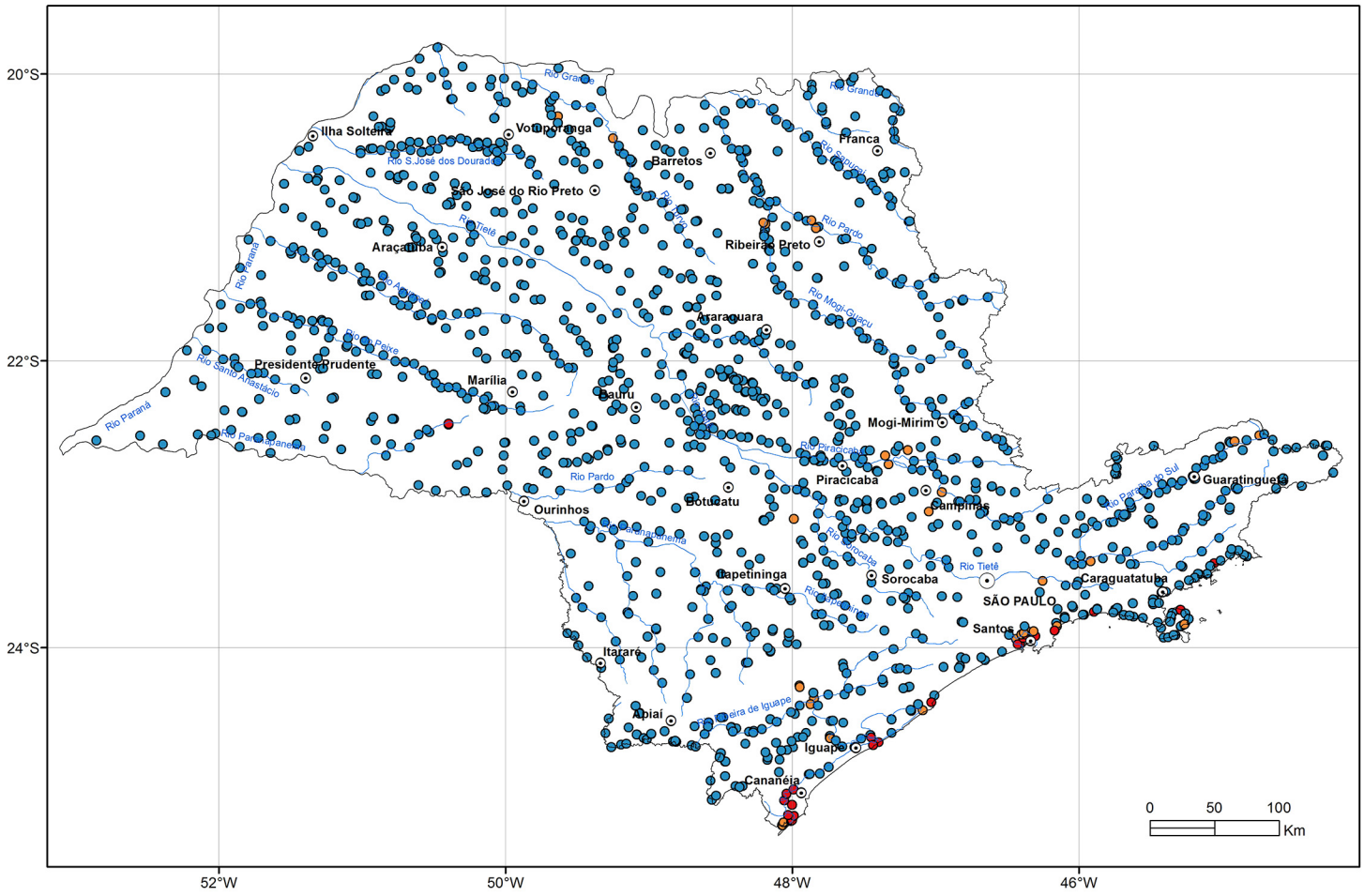




Estatística Descritiva

Elemento	Al
Limite de Detecção (LD)	0,01 (%)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	2,35
Valor Mínimo	0,15
Valor Máximo	13,40
Média	3,06
Variância	5,70
Desvio Padrão	2,39
Coeficiente de Variação	0,8
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Wedepohl, 1995)	7,74

Arsênio As Águas

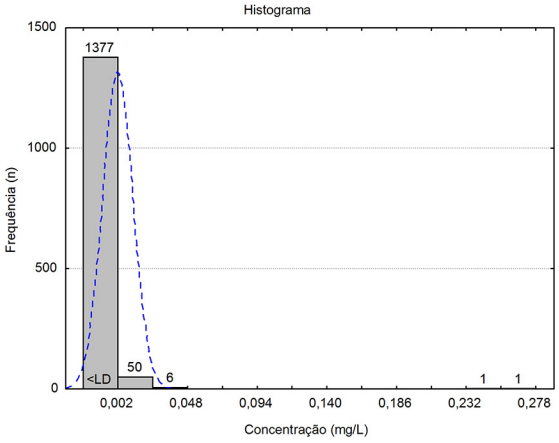


Legenda

- Cidade
- Rio

Arsênio (mg/L)

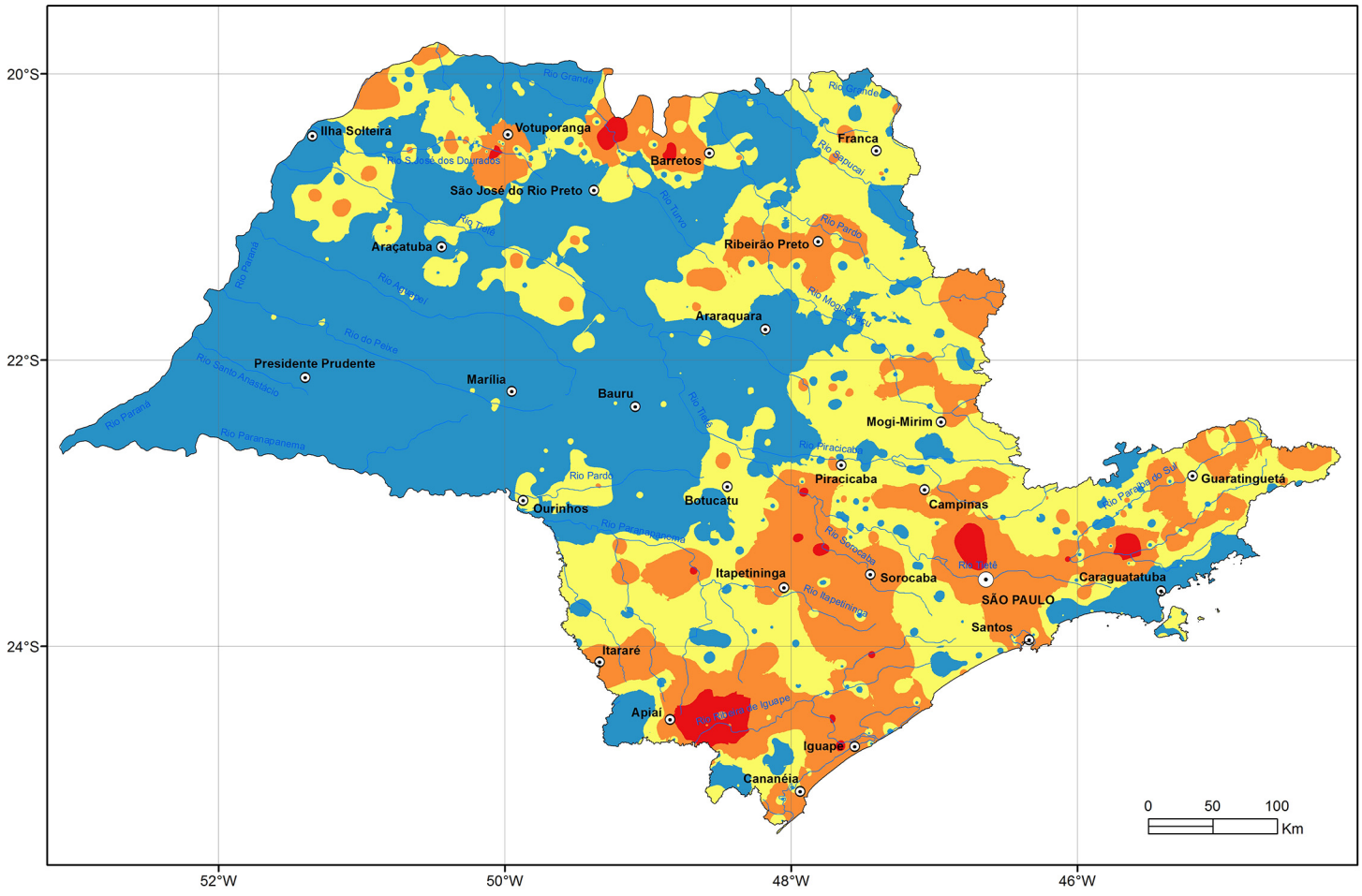
- **<0,002**
- **0,002 a 0,004**
- **0,005 a 0,273**



Estatística Descritiva

Elemento	As
Limite de Detecção (LD)	0,002 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	58
Valor Mínimo	<0,002
Valor Máximo	0,273
Média	<0,002
Mediana	<0,002
Percentil 75	<0,002
Percentil 90	<0,002
Percentil 98	0,004
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,01
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,15
Referência consumo humano (BRASIL, 2011)	0,01

Arsênio As Sedimentos

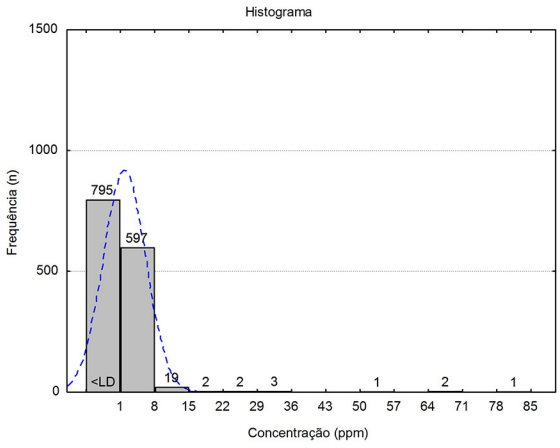


Legenda

- Cidade
- Rio

Arsênio (ppm)

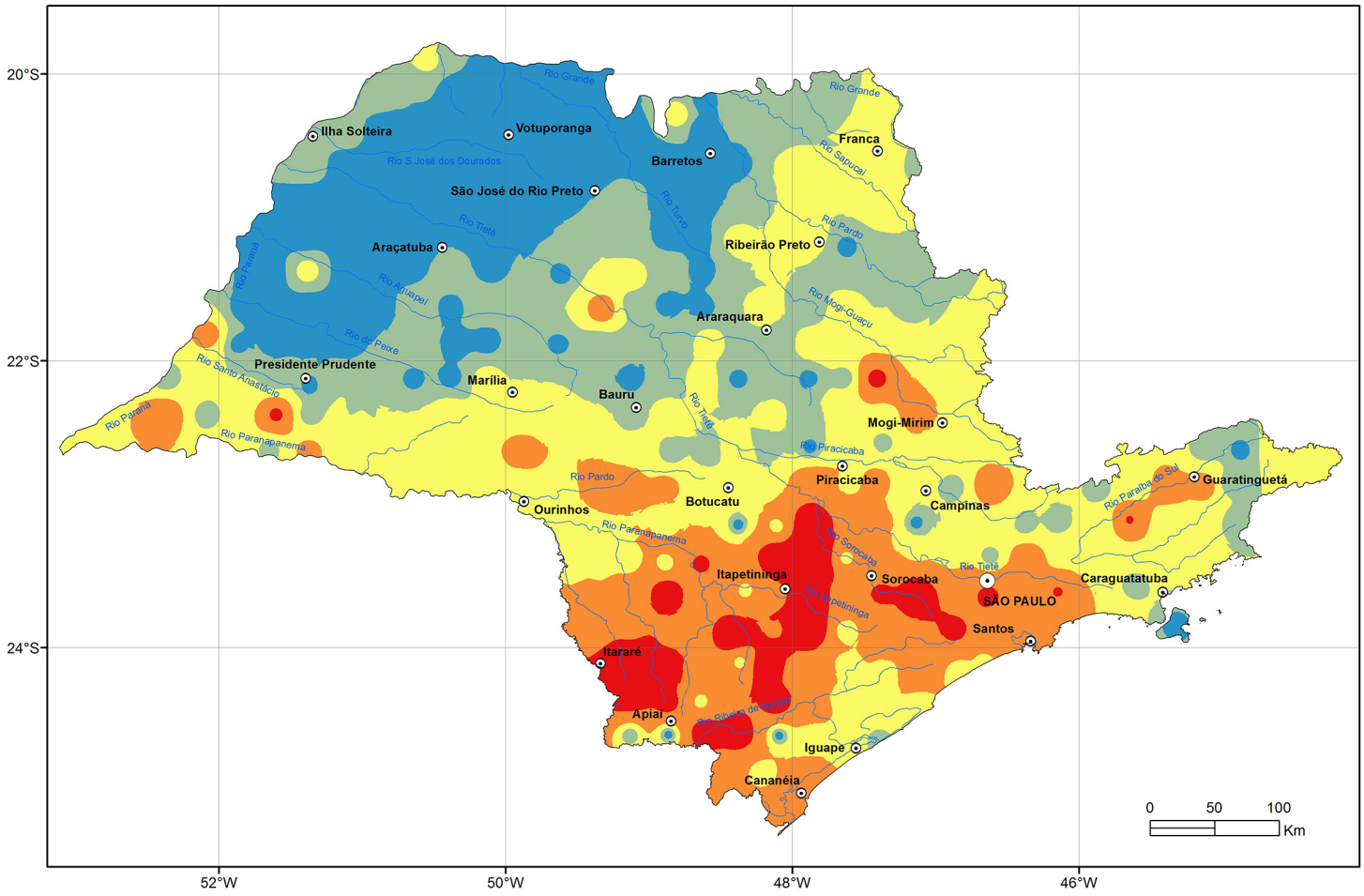
- < 1
- 1 a 2
- 3 a 9
- 10 a 85



Estatística Descritiva

Elemento	As
Limite de detecção (LD)	1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	627
Valor mínimo	<1
Valor máximo	85
Média	2
Mediana	<1
Percentil 75	2
Percentil 90	3
Percentil 98	9
Referência nacional (BRASIL, 2012)	5,9
Referência internacional (Buchman, 2008)	5,9
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	4,8

Arsênio As Solos

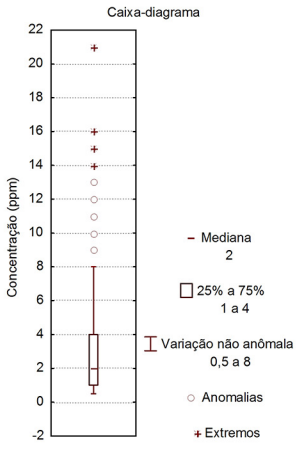


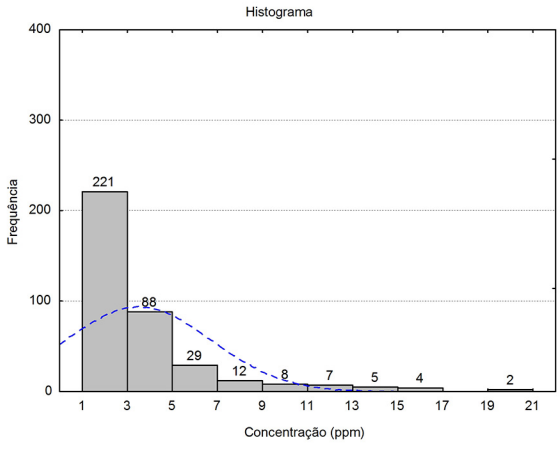
Legenda

- Cidade
- Rio

Arsênio (ppm)

- <1 a 1
- 2
- 3 a 4
- 5 a 9
- 10 a 21

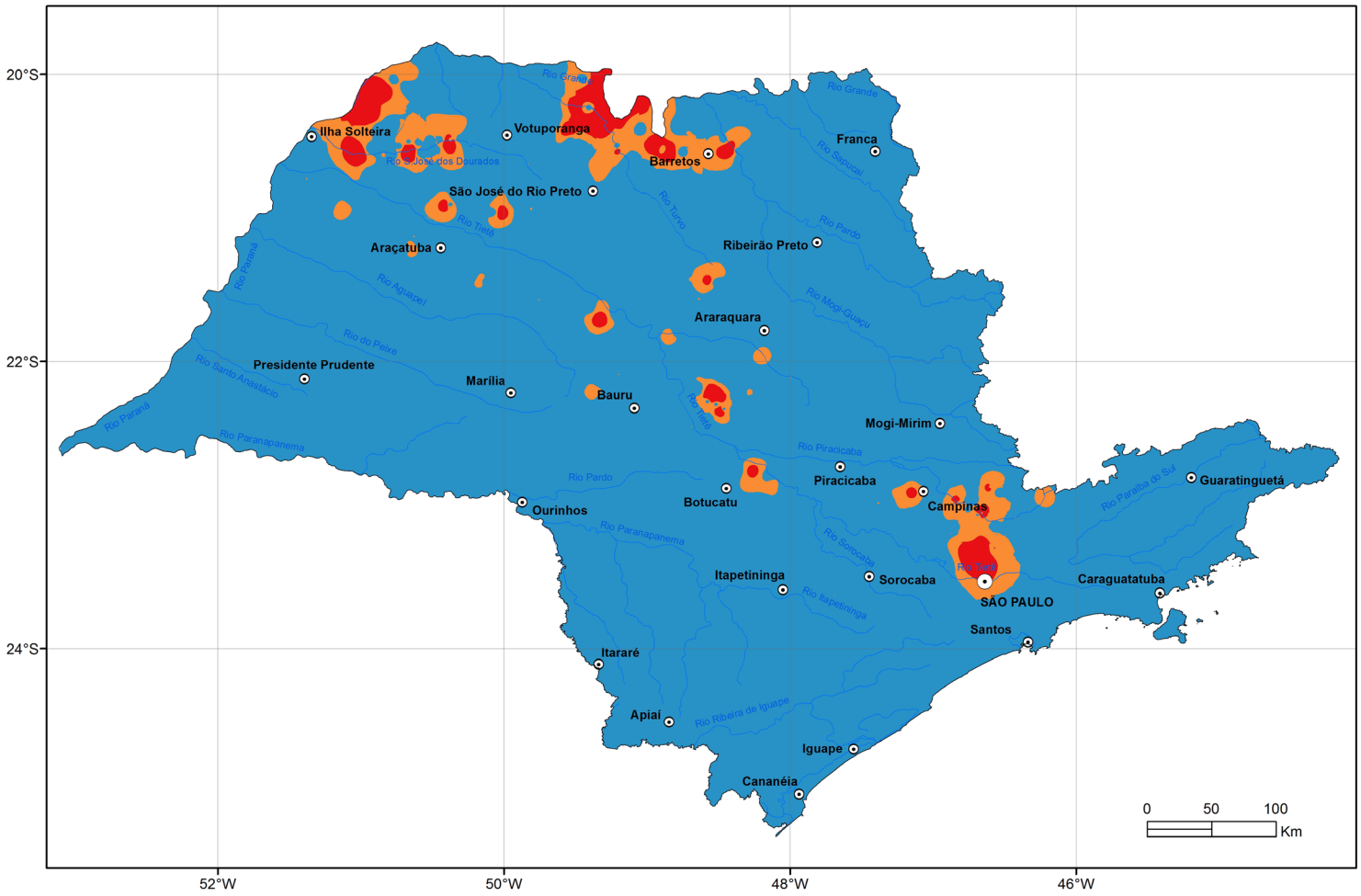




Estatística Descritiva

Elemento	As
Limite de Detecção (LD)	1 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	296
Mediana	2
Valor Mínimo	1
Valor Máximo	21
Média	3
Variância	11
Desvio Padrão	3
Coeficiente de Variação	1,1
Referência nacional (CETESB, 2014)	15
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,9
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	4,8

Ouro Au Sedimentos



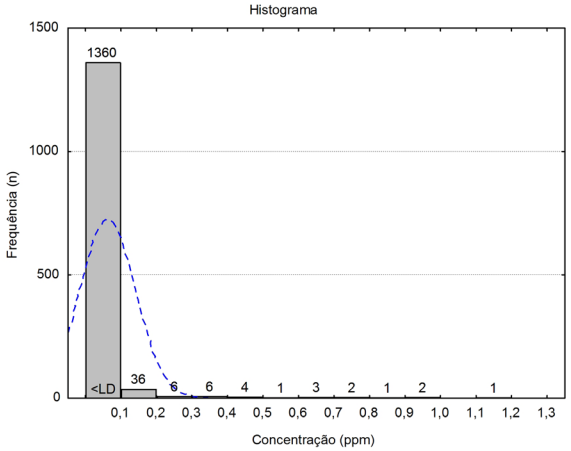
Legenda

- Cidade
- Rio

Ouro (ppm)

- <0,1
- 0,1 a 0,2
- 0,3 a 1,2

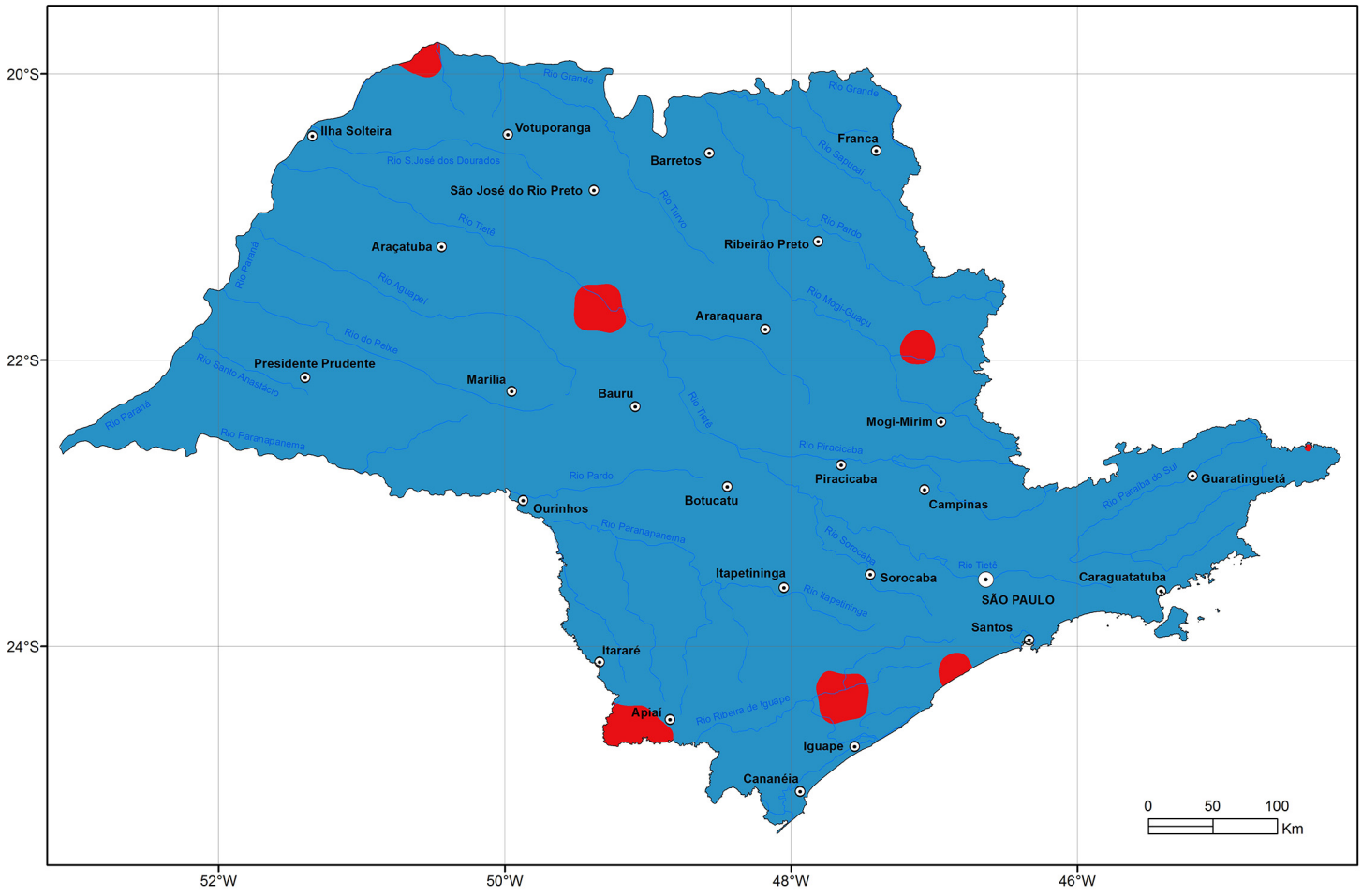
Histograma



Estatística Descritiva

Elemento	Au
Limite de detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	62
Valor mínimo	<0,1
Valor máximo	1,2
Média	<0,1
Mediana	<0,1
Percentil 75	<0,1
Percentil 90	<0,1
Percentil 98	0,2
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	0,0015

Ouro Au Solos



Legenda

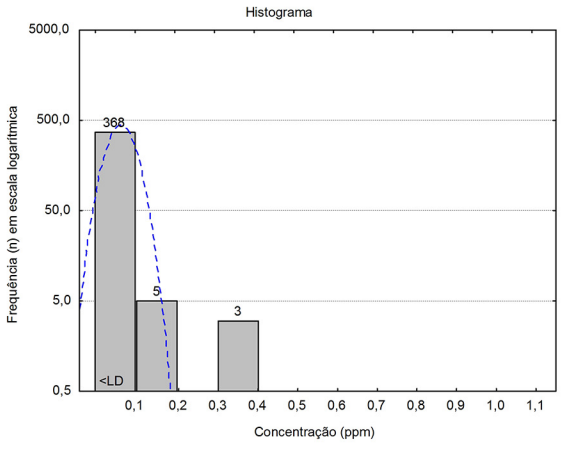
Cidade

Rio

Ouro (ppm)

<0,1

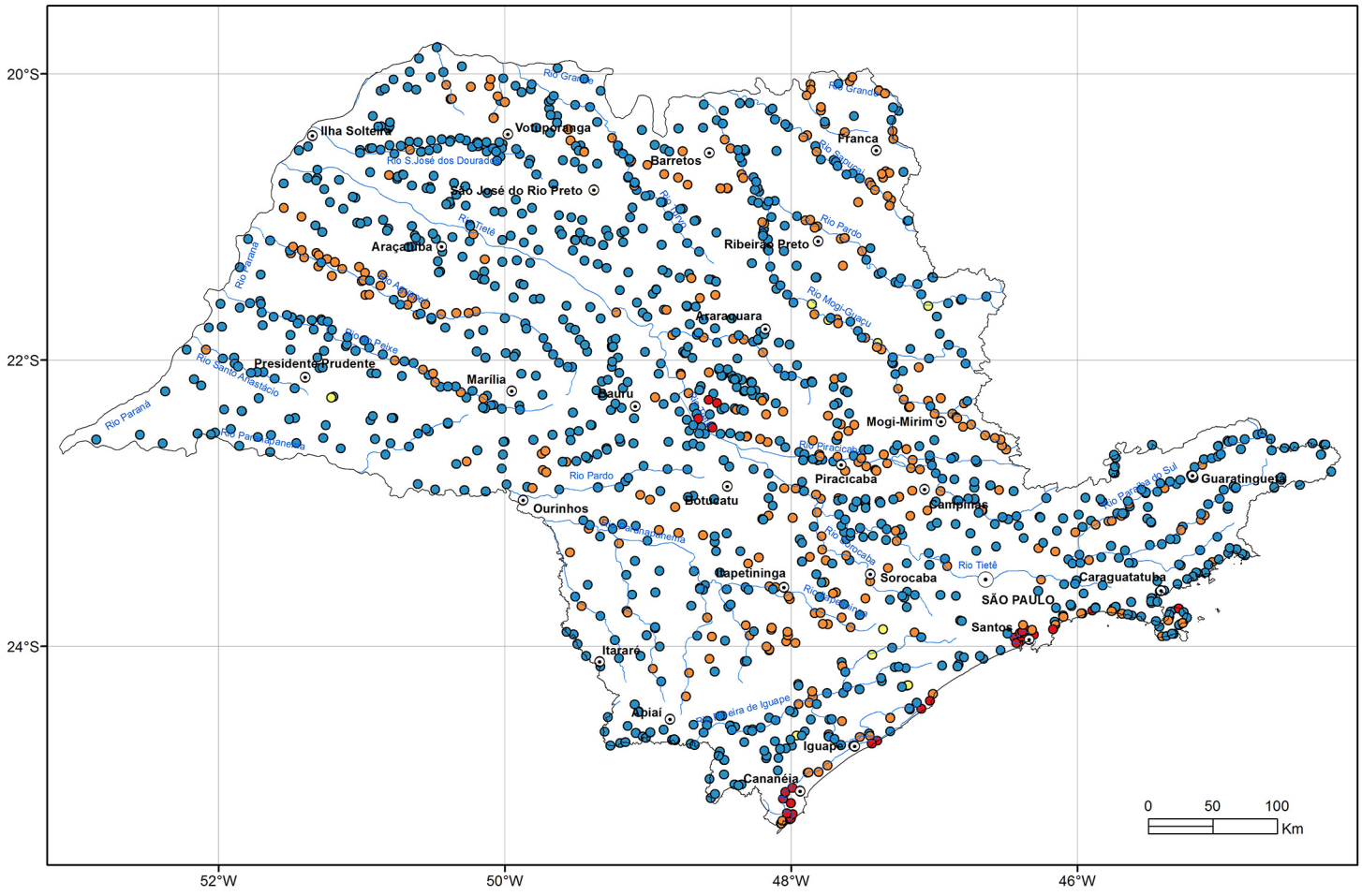
0,1 a 0,4



Estatística Descritiva

Elemento	Au
Limite de Detecção (LD)	0,1 (%)
Número de medidas	376
Resultos > LD	8
Valor Mínimo	<0,1
Valor Máximo	0,4
Média	<0,1
Mediana	<0,1
Percentil 75	<0,1
Percentil 90	<0,1
Percentil 98	<0,1
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao,2003)	0,0015

Boro B Águas

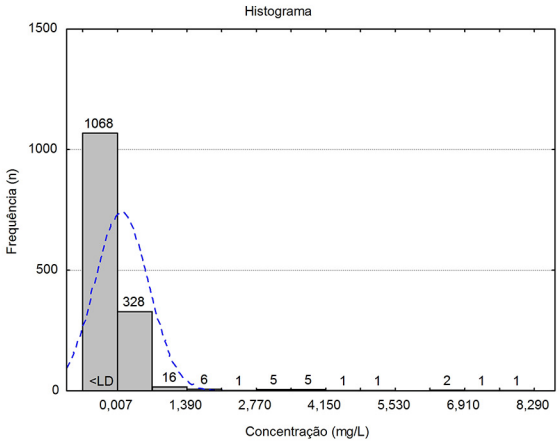


Legenda

- Cidade
- Rio

Boro (mg/L)

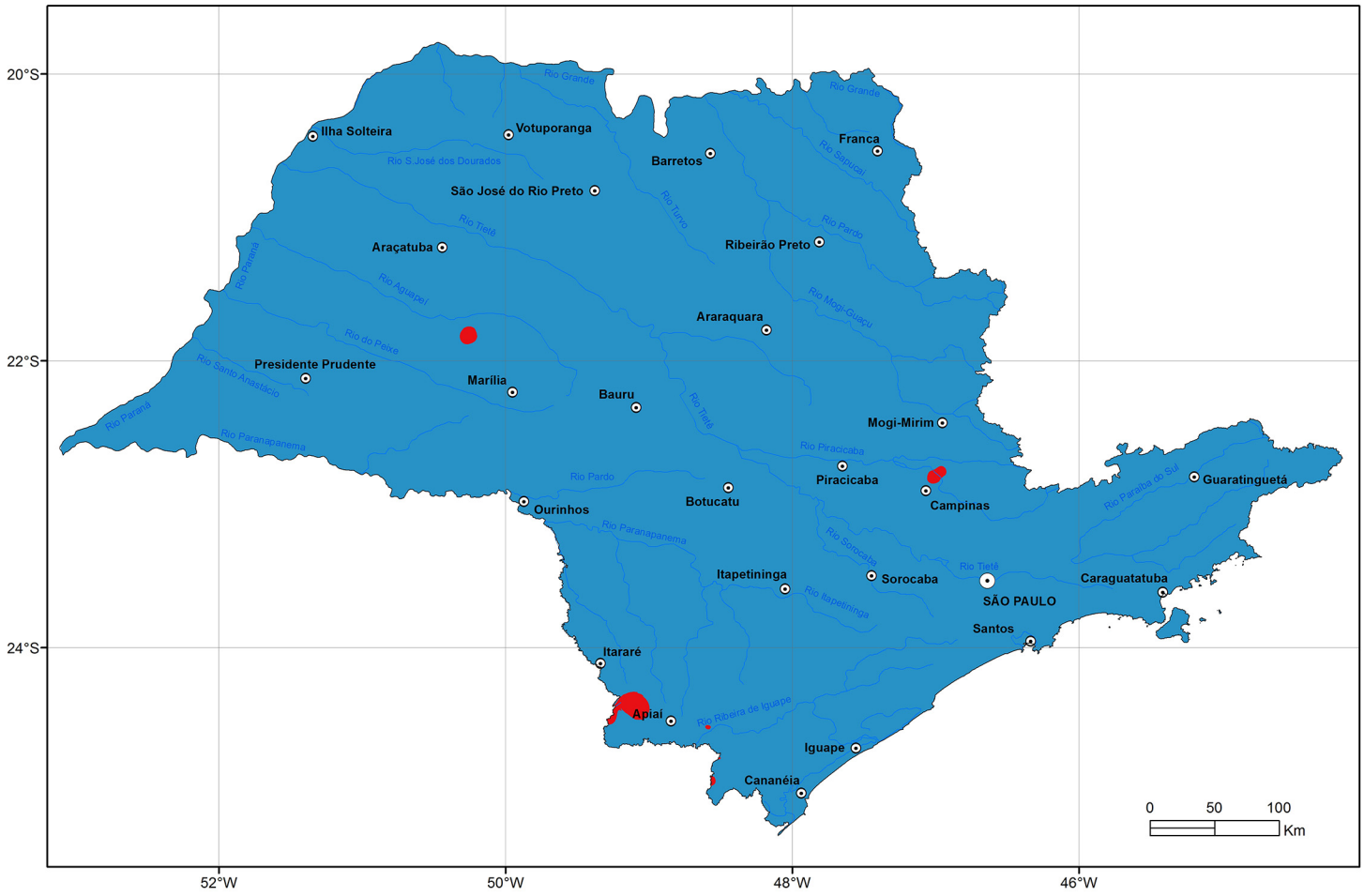
- **<0,007**
- **0,007 a 0,009**
- **0,010 a 0,902**
- **0,903 a 8,287**



Estatística Descritiva

Elemento	B
Limite de Detecção (LD)	0,007 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	367
Valor Mínimo	<0,007
Valor Máximo	8,287
Média	0,085
Mediana	<0,007
Percentil 75	0,009
Percentil 90	0,050
Percentil 98	0,902
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,5
Referência internacional (CCME, 2009)	1,5
Referência consumo humano (WHO, 2011)	2,4

Boro B Sedimentos



Legenda

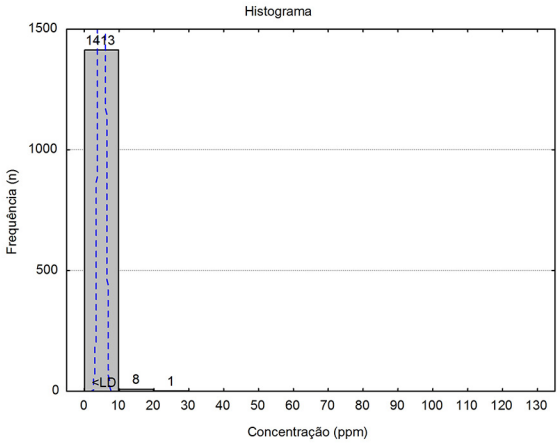
Cidade

Rio

Boro (ppm)

<10

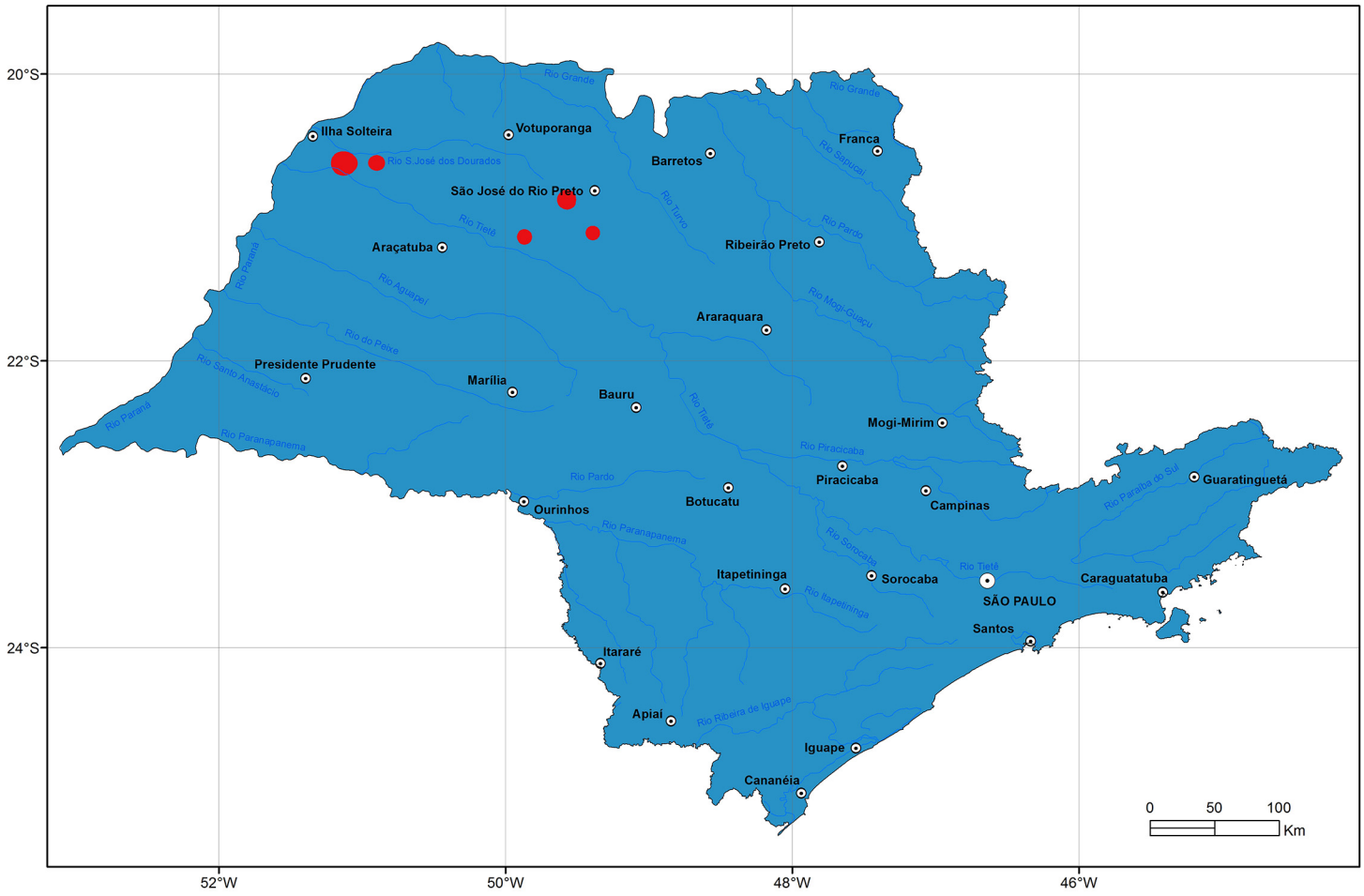
10 a 22



Estatística Descritiva

Elemento	B
Limite de detecção (LD)	10 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	9
Valor mínimo	<5
Valor máximo	22
Média	<5
Mediana	<5
Percentil 75	<5
Percentil 90	<5
Percentil 98	<5
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	17

Boro B Solos

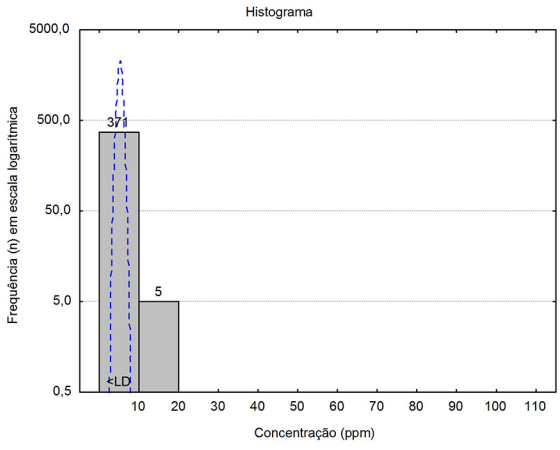


Legenda

- Cidade
- Rio

Boro (ppm)

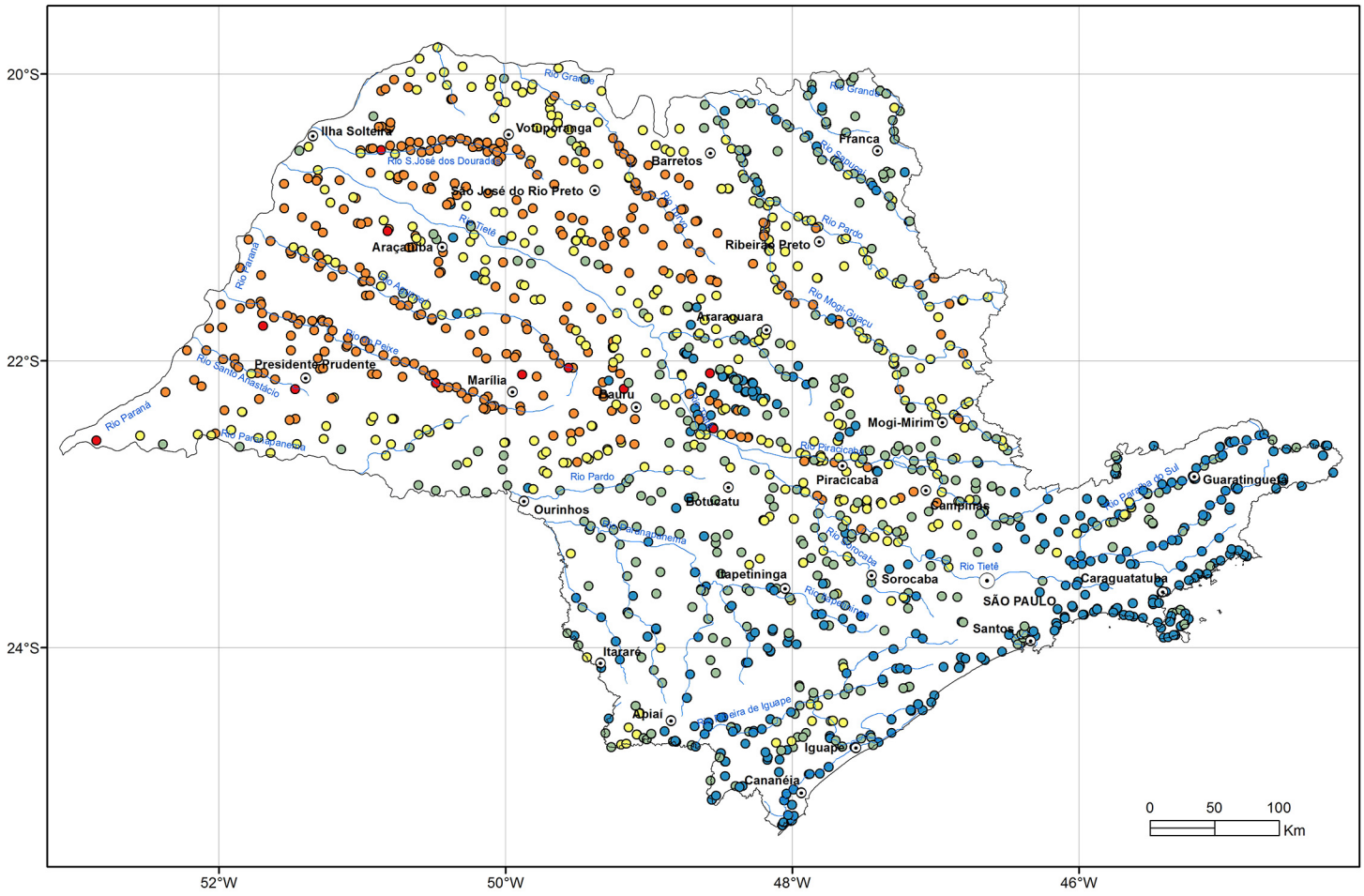
- <10
- 10 a 12



Estatística Descritiva

Elemento	B
Limite de Detecção (LD)	10 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	5
Valor Mínimo	<10
Valor Máximo	12
Média	<10
Mediana	<10
Percentil 75	<10
Percentil 90	<10
Percentil 98	<10
Referência nacional	-
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,5
Média na crosta superior (Rudinick e Gao,2003)	17

Bário Ba Águas

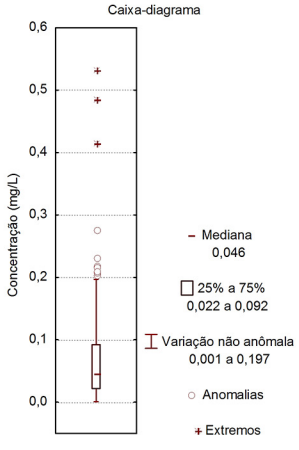


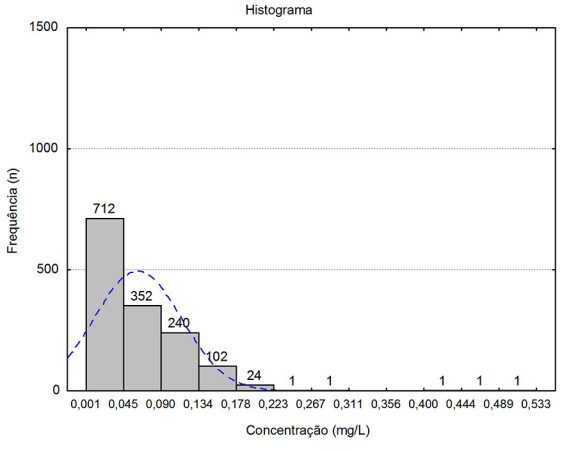
Bário (mg/L)

- **<0,003 a 0,020**
- **0,021 a 0,046**
- **0,047 a 0,092**
- **0,093 a 0,197**
- **0,198 a 0,533**

Legenda

- Cidade
- Rio

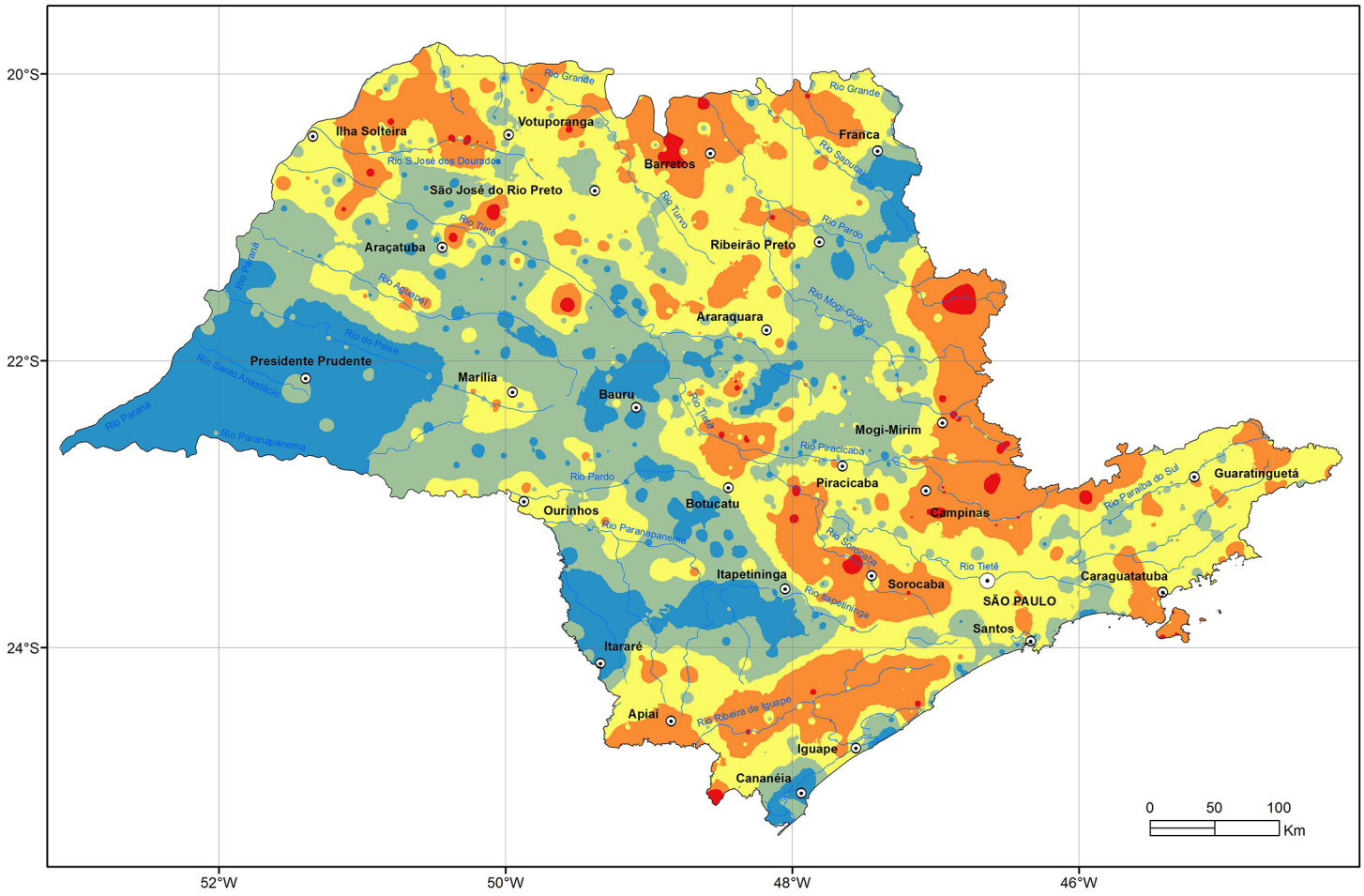




Estatística Descritiva

Elemento	Ba
Limite de Detecção (LD)	0,003 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	1397
Valor Mínimo	<0,003
Valor Máximo	0,533
Mediana	0,046
Média	0,061
Variância	0,003
Desvio Padrão	0,051
Coeficiente de Variação	0,8
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,7
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,0039
Referência consumo humano (BRASIL, 2008)	0,7

Bário Ba Sedimentos

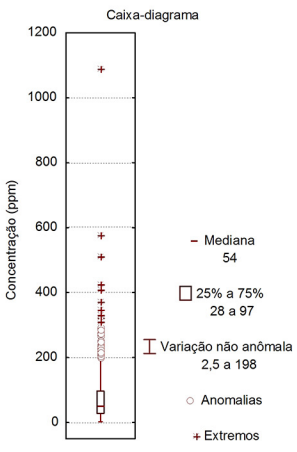


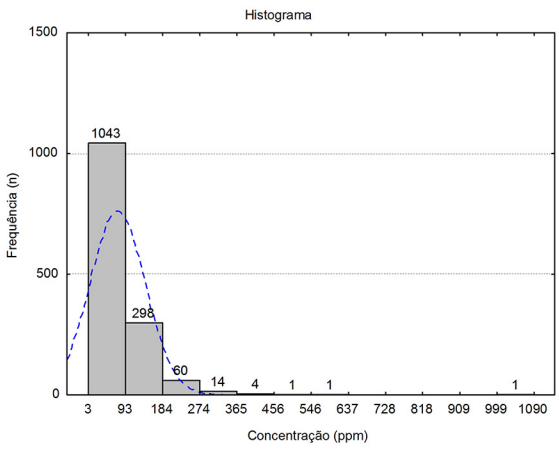
Legenda

- Cidade
- Rio

Bário (ppm)

- <5 a 28
- 29 a 54
- 55 a 97
- 97 a 200
- 201 a 1.090

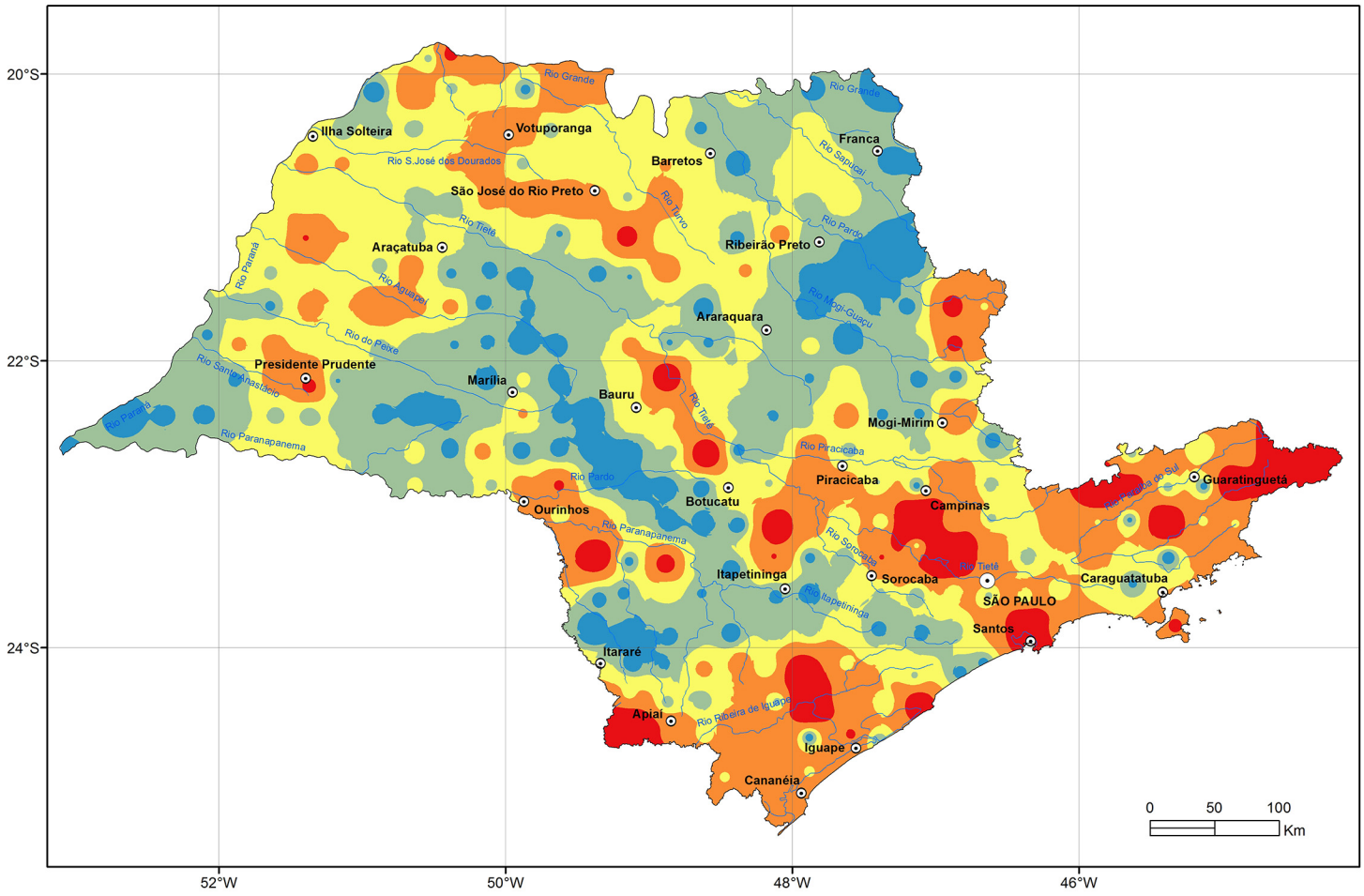




Estatística Descritiva

Elemento	Ba
Limite de detecção (LD)	5 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1421
Valor mínimo	<5
Valor máximo	1.090
Média	73
Mediana	54
Variância	4.556
Desvio padrão	67
Coeficiente de variação	0,9
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	624

Bário Ba Solos

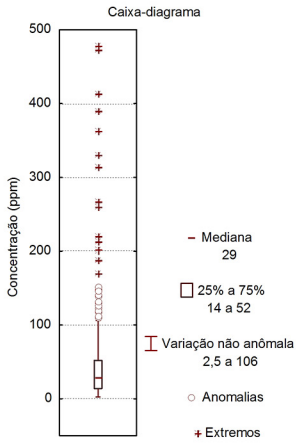


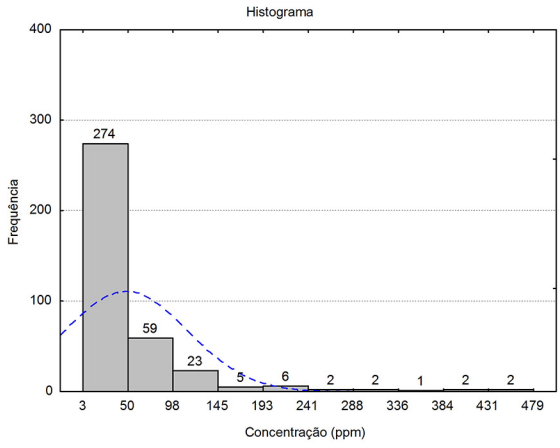
Bário (ppm)

- <5 a 14
- 15 a 29
- 30 a 52
- 53 a 109
- 110 a 479

Legenda

- Cidade
- Rio

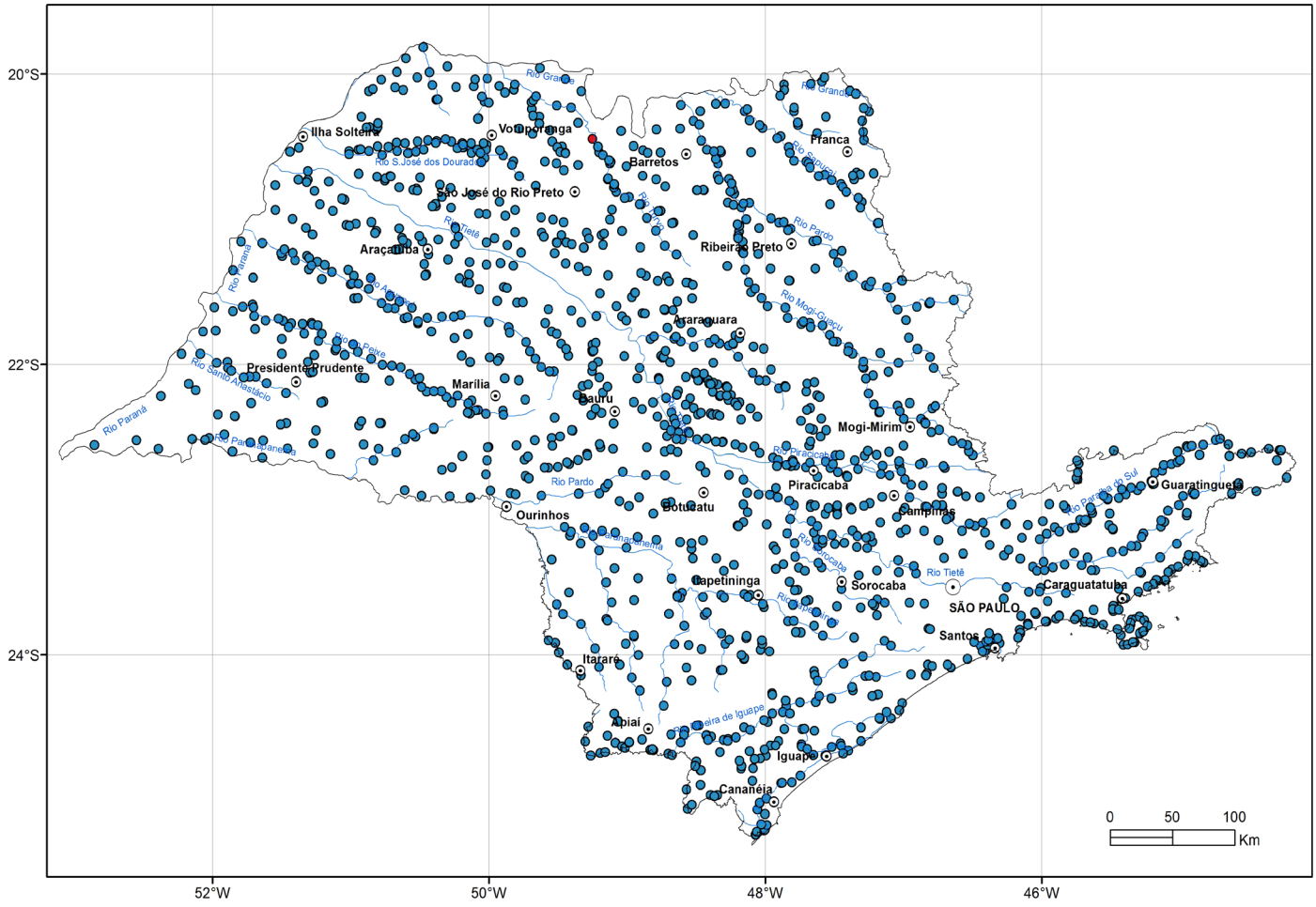




Estatística Descritiva

Elemento	Ba
Limite de Detecção (LD)	5 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	356
Mediana	29
Valor Mínimo	3
Valor Máximo	479
Média	48
Variância	4.165
Desvio Padrão	65
Coeficiente de Variação	1,3
Referência Nacional (CETESB, 2014)	120
Referência Internacional (CCME, 2013)	500
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	624

Berílio Be Águas

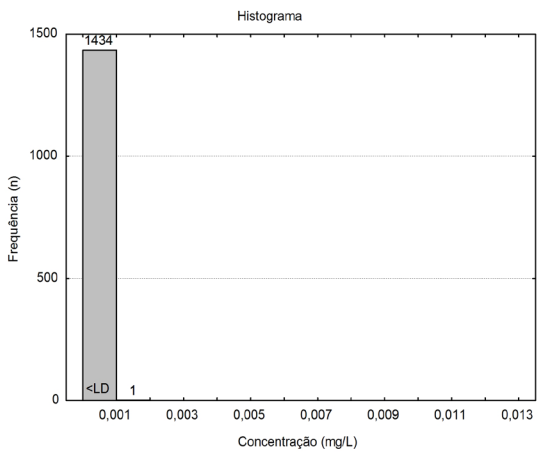


Legenda

- Cidade
- Rio

Berílio (mg/L)

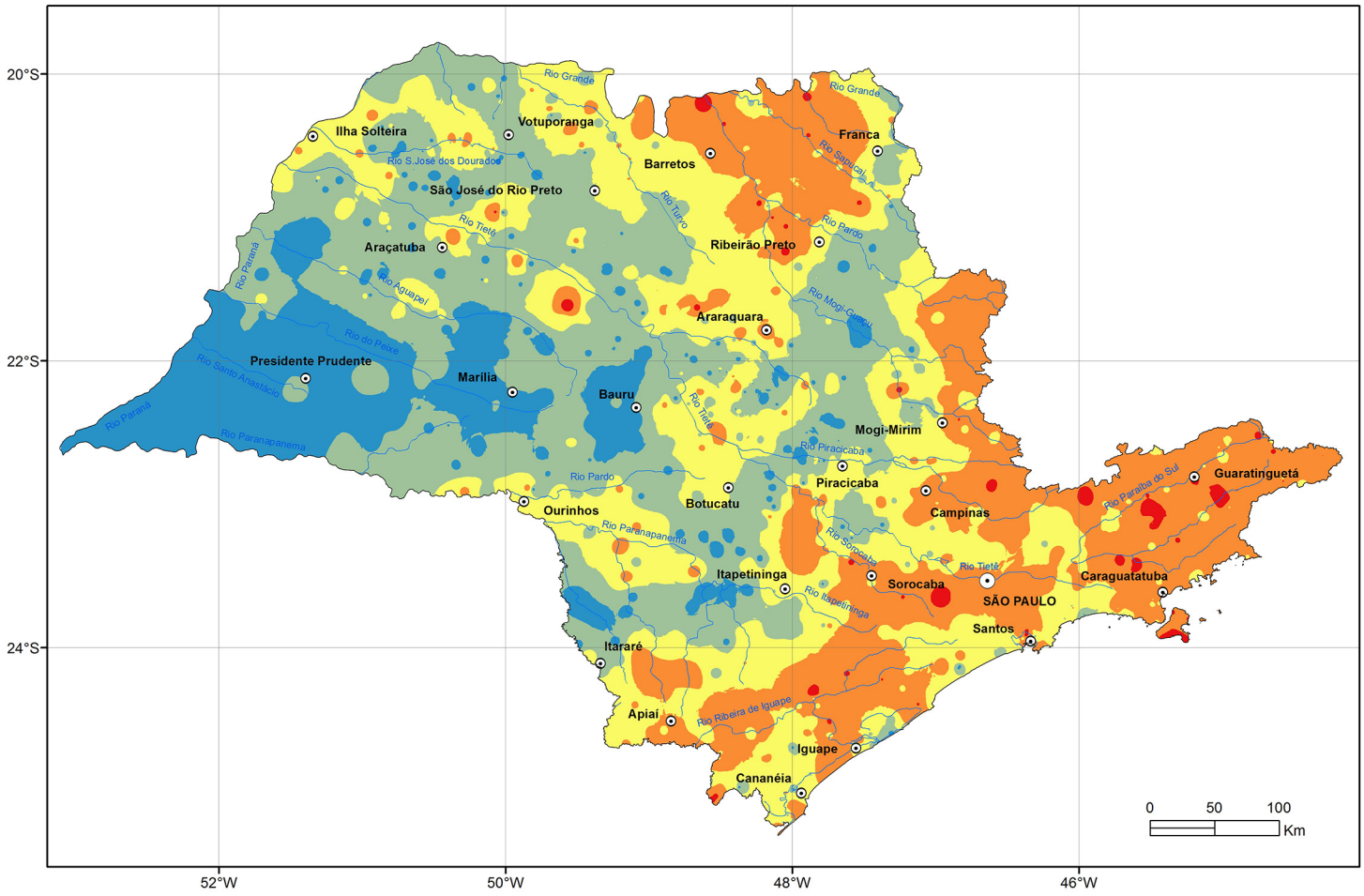
- **<0,001**
- **0,001**



Estatística Descritiva

Elemento	Be
Limite de Detecção (LD)	0,001 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	1
Valor Mínimo	<0,001
Valor Máximo	0,001
Média	<0,001
Mediana	<0,001
Percentil 75	<0,001
Percentil 90	<0,001
Percentil 98	<0,001
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,040
Referência internacional (CCME, 2014)	0,00066
Referência consumo humano (BRASIL, 2008)	0,004

Berílio Be Sedimentos



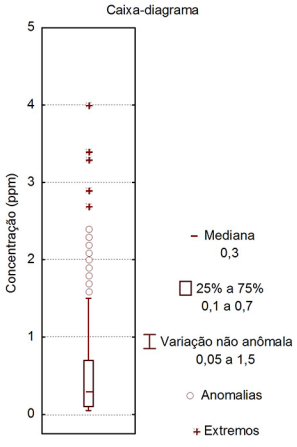
Legenda

- Cidade
- Rio

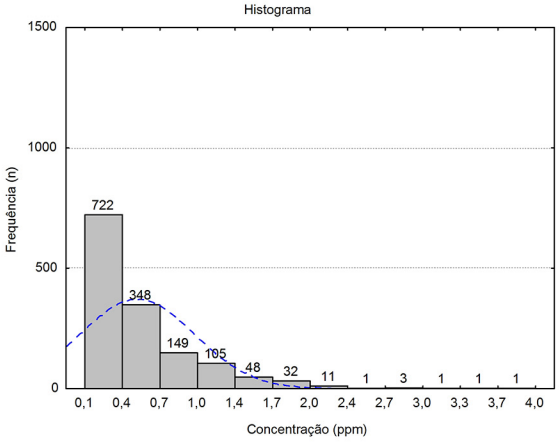
Berílio (ppm)

- <0,1 a 0,1
- 0,2 a 0,3
- 0,3 a 0,7
- 0,8 a 1,6
- 1,7 a 4,0

Caixa-diagrama



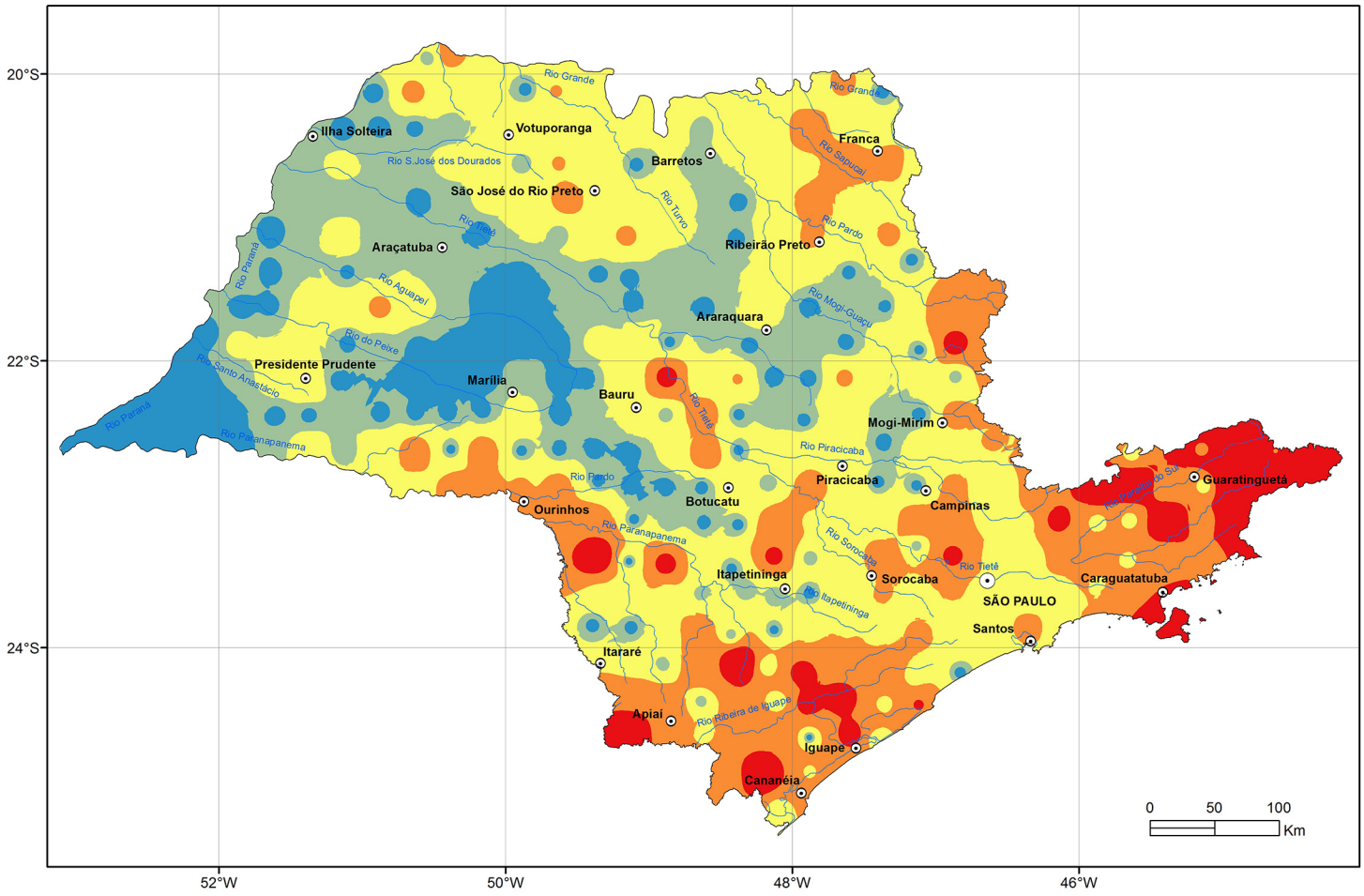
Histograma



Estatística Descritiva

Elemento	Be
Limite de detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1142
Valor mínimo	<0,1
Valor máximo	4,0
Média	0,5
Mediana	0,3
Variância	0,3
Desvio padrão	0,5
Coeficiente de variação	1,0
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	2,1

Berílio Be Solos

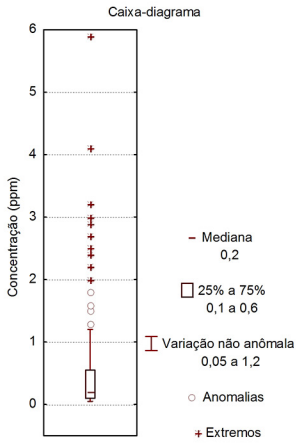


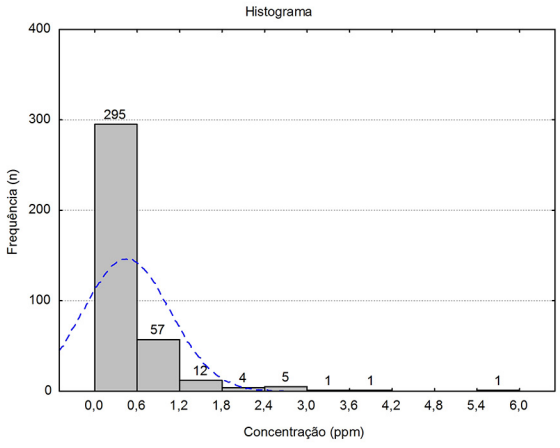
Berílio (ppm)

- <0,1 a 0,1
- 0,2
- 0,3 a 0,6
- 0,7 a 1,2
- 1,3 a 5,9

Legenda

- Cidade
- Rio

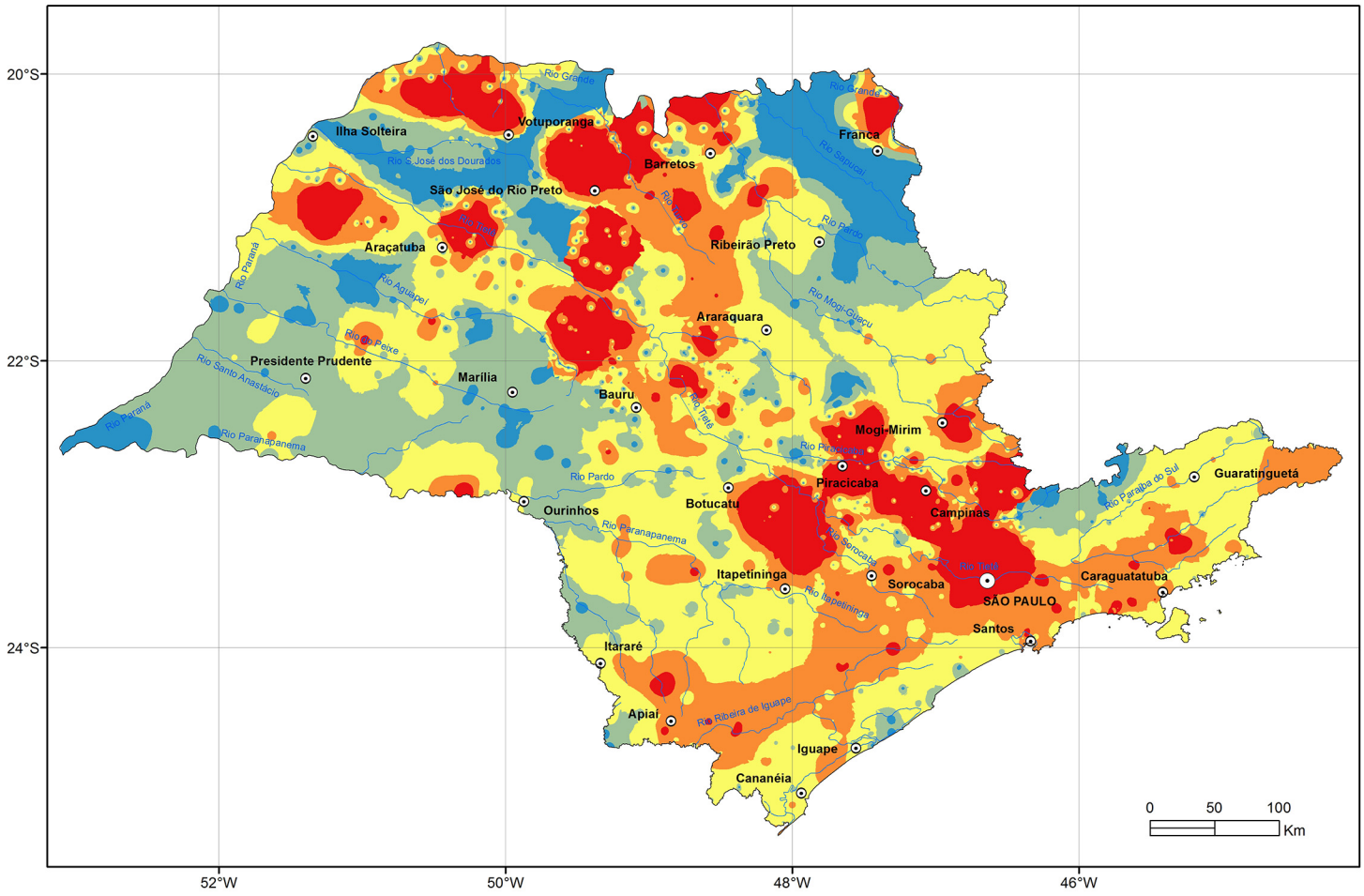




Estatística Descritiva

Elemento	Be
Limite de Detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	287
Mediana	0,2
Valor Mínimo	<0,1
Valor Máximo	5,9
Média	0,4
Variância	0,4
Desvio Padrão	0,6
Coeficiente de Variação	1,4
Referência internacional (CCME, 2015)	4
Referência internacional (Buchman, 2008)	1,1
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	2,1

Bismuto Bi Sedimentos

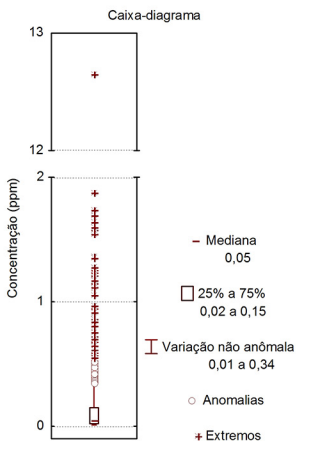


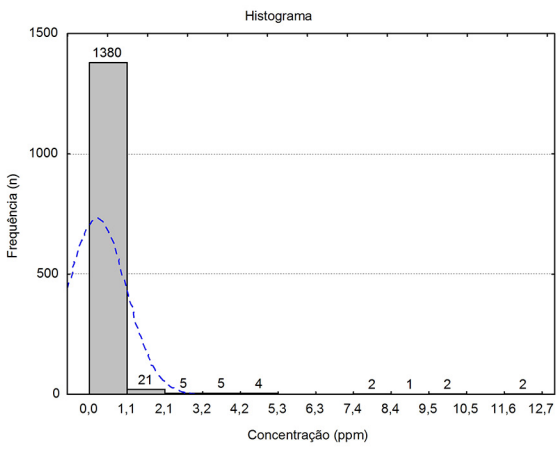
Legenda

- Cidade
- Rio

Bismuto (ppm)

- <0,02 a 0,02
- 0,03 a 0,05
- 0,06 a 0,15
- 0,16 a 0,35
- 0,35 a 12,65

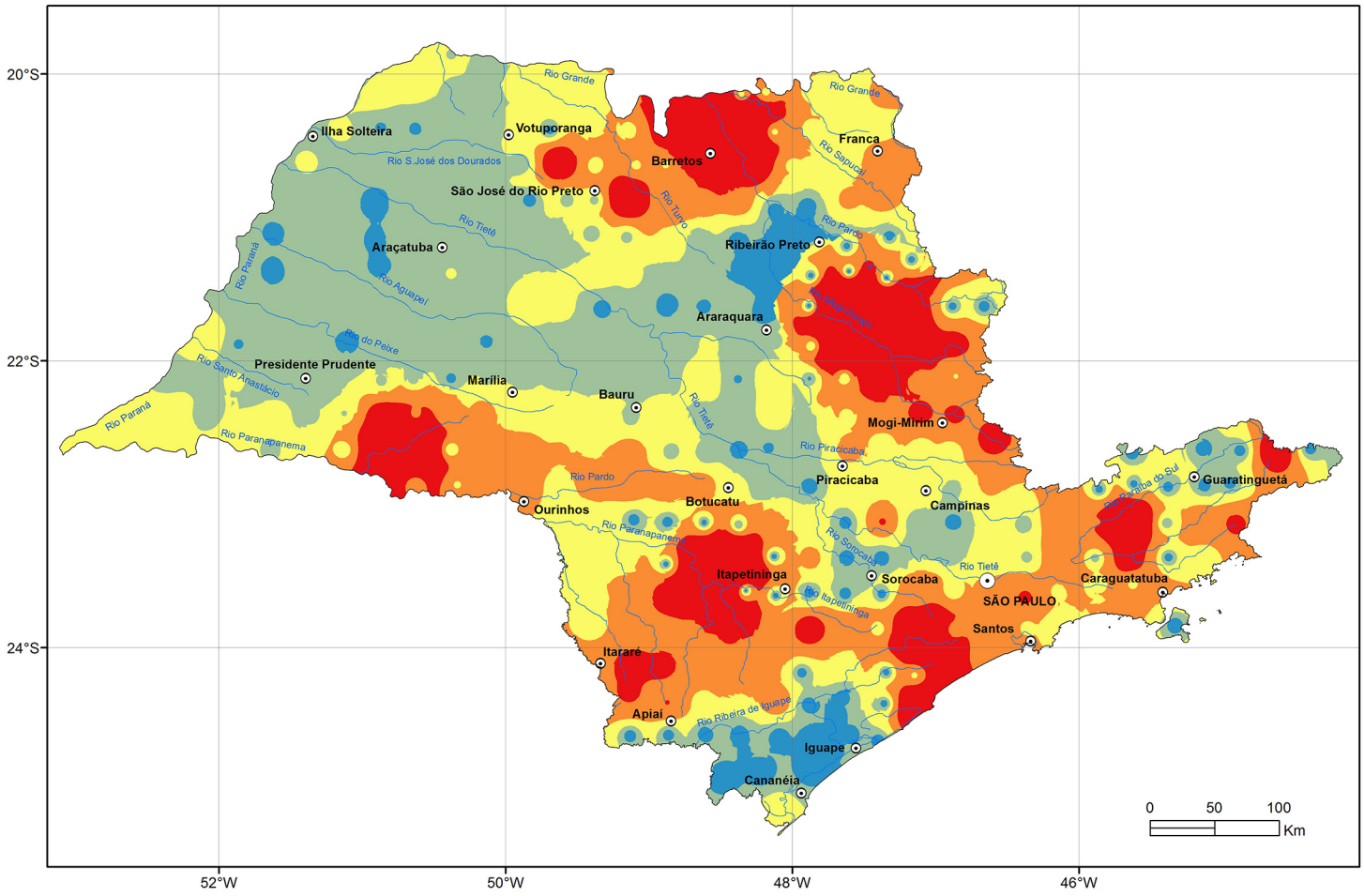




Estatística Descritiva

Elemento	Bi
Limite de detecção (LD)	0,02 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1076
Valor mínimo	<0,02
Valor máximo	12,65
Média	0,21
Mediana	0,05
Variância	0,67
Desvio padrão	0,82
Coeficiente de variação	3,8
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	0,16

Bismuto Bi Solos

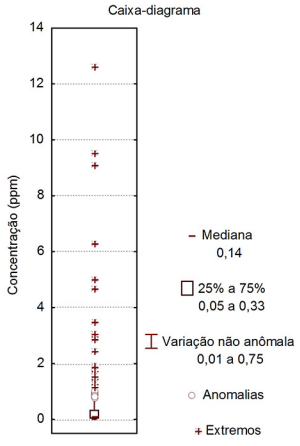


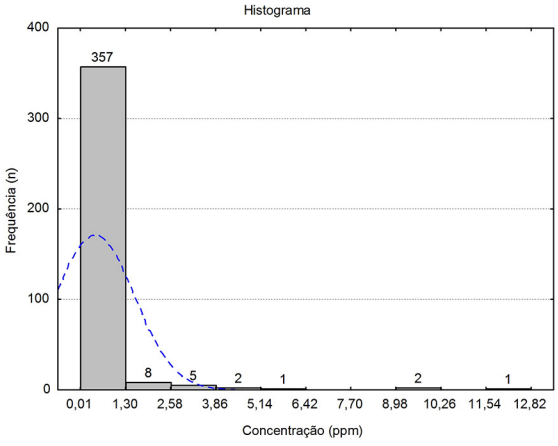
Legenda

- Cidade
- Rio

Bismuto (ppm)

- <0,02 a 0,05
- 0,06 a 0,14
- 0,15 a 0,33
- 0,34 a 0,74
- 0,75 a 12,63

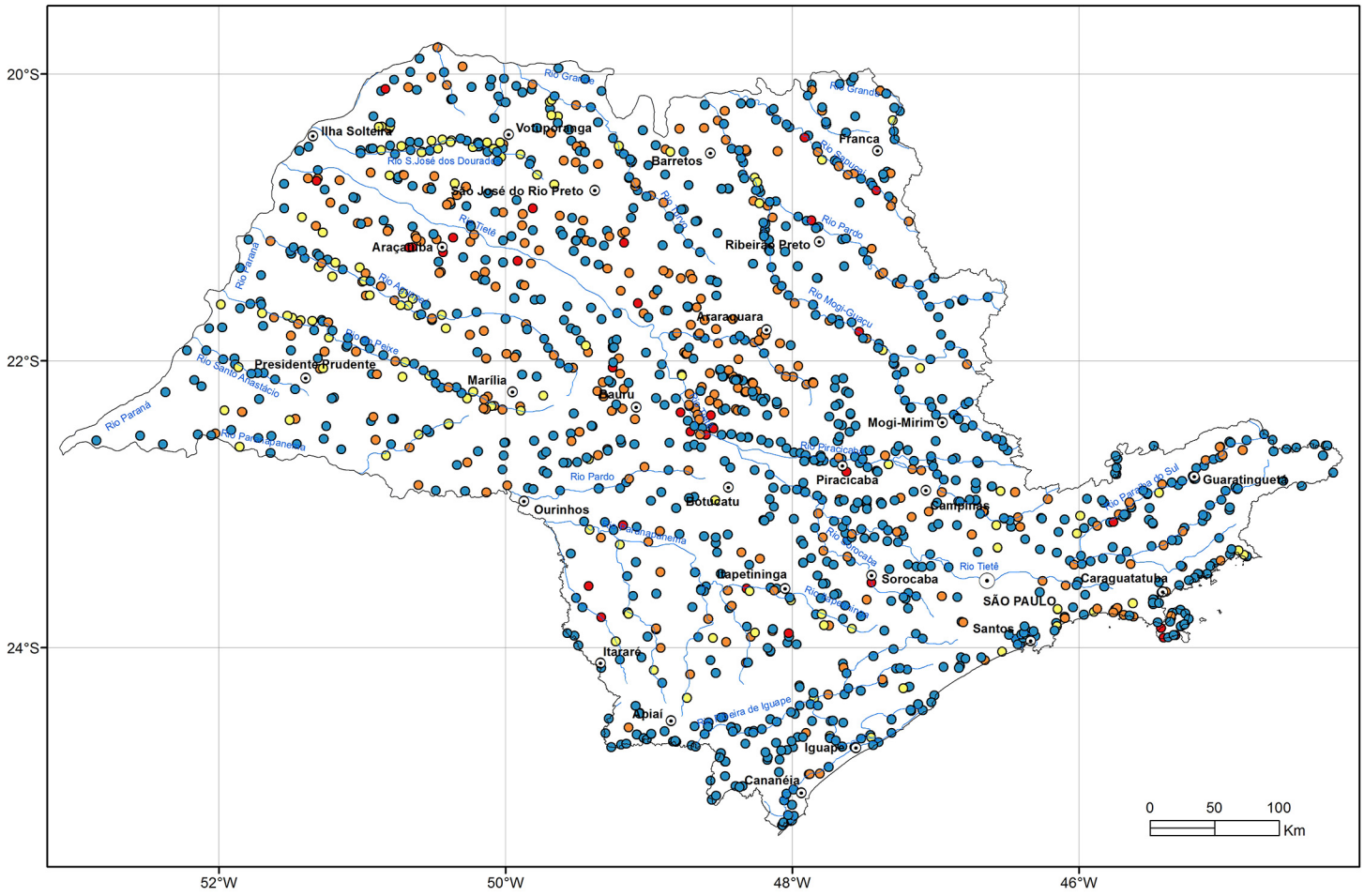




Estatística Descritiva

Elemento	Bi
Limite de Detecção (LD)	0,02 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	311
Mediana	0,14
Valor Mínimo	0,01
Valor Máximo	12,63
Média	0,41
Variância	1,26
Desvio Padrão	1,12
Coeficiente de Variação	2,74
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	0,16

Brometo Br^- Águas

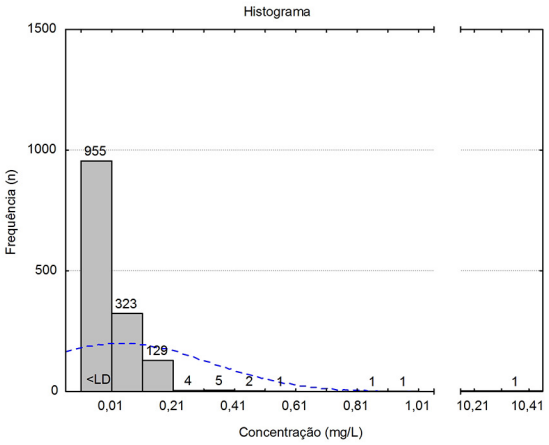


Brometo (mg/L)

- **<0,01**
- **0,01 a 0,02**
- **0,03 a 0,17**
- **0,18 a 10,39**

Legenda

- Cidade
- Rio

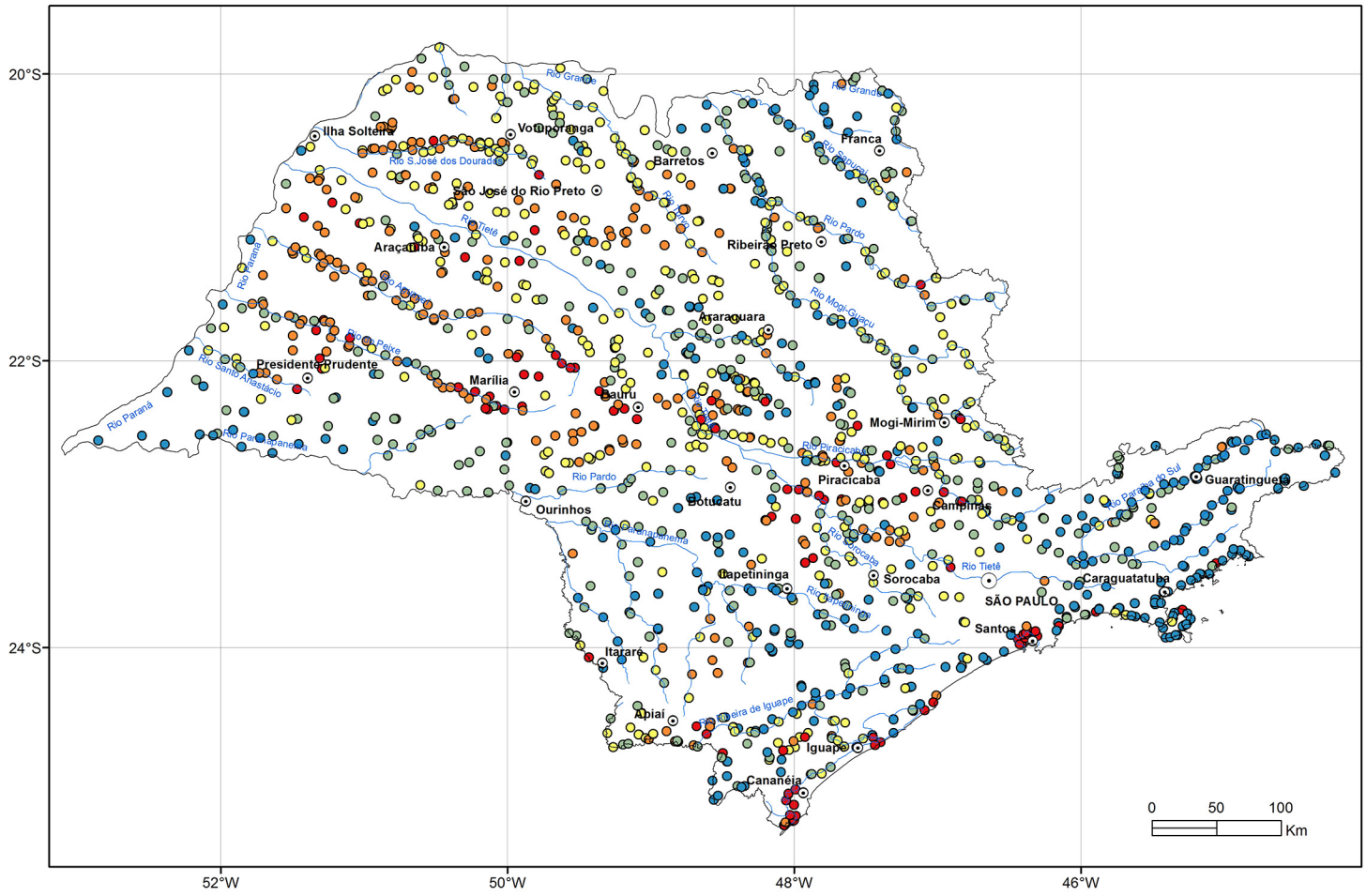


Estatística Descritiva

Elemento	Br^-
Limite de Detecção (LD)	0,01 (mg/L)
Número de medidas	1422
Resultos > LD	467
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	10,39
Média	0,04
Mediana	<0,01
Percentil 75	0,02
Percentil 90	0,12
Percentil 98	0,17
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência consumo humano	-

Cálcio Ca

Águas

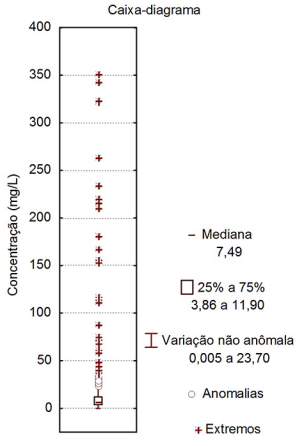


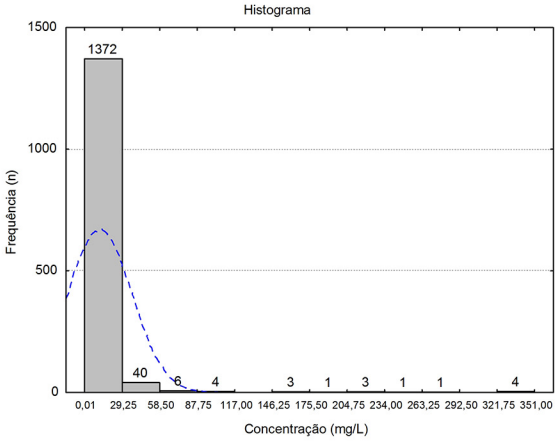
Cálcio (mg/L)

- **<0,01 a 3,86**
- **3,87 a 7,49**
- **7,50 a 11,90**
- **11,91 a 23,96**
- **23,97 a 351,00**

Legenda

- Cidade
- Rio



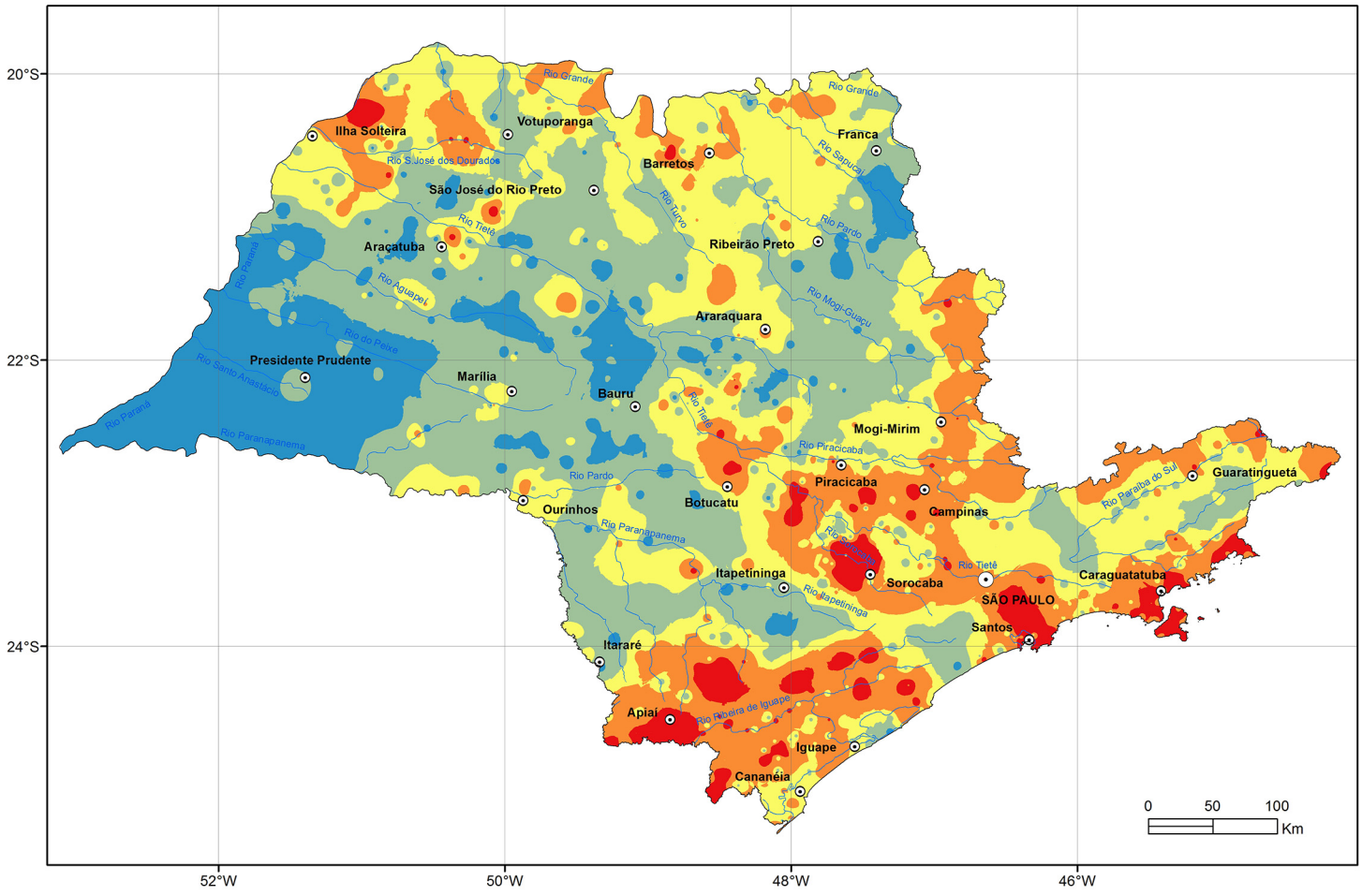


Estatística Descritiva

Elemento	Ca
Limite de Detecção (LD)	0,01 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	1433
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	351,00
Mediana	7,49
Média	11,67
Variância	625,15
Desvio Padrão	25,00
Coeficiente de Variação	2,1
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência consumo humano	-

Cálcio Ca

Sedimentos

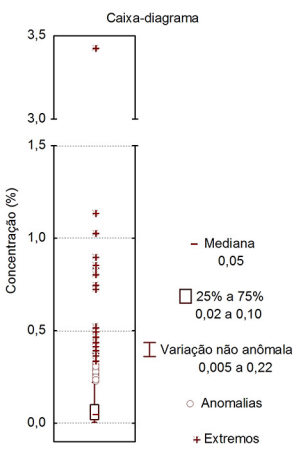


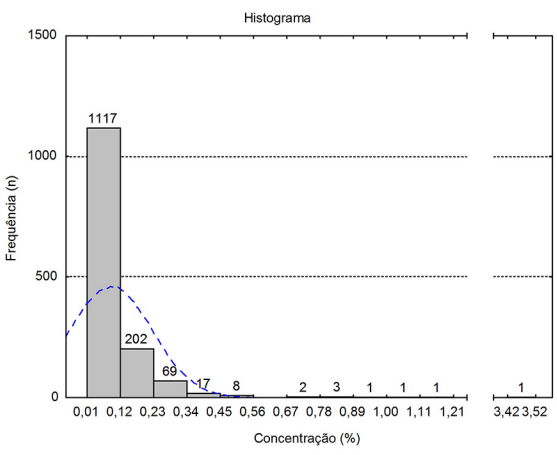
Cálcio (%)

- <0,01 a 0,02
- 0,03 a 0,05
- 0,06 a 0,10
- 0,11 a 0,22
- 0,22 a 3,43

Legenda

- Cidade
- Rio



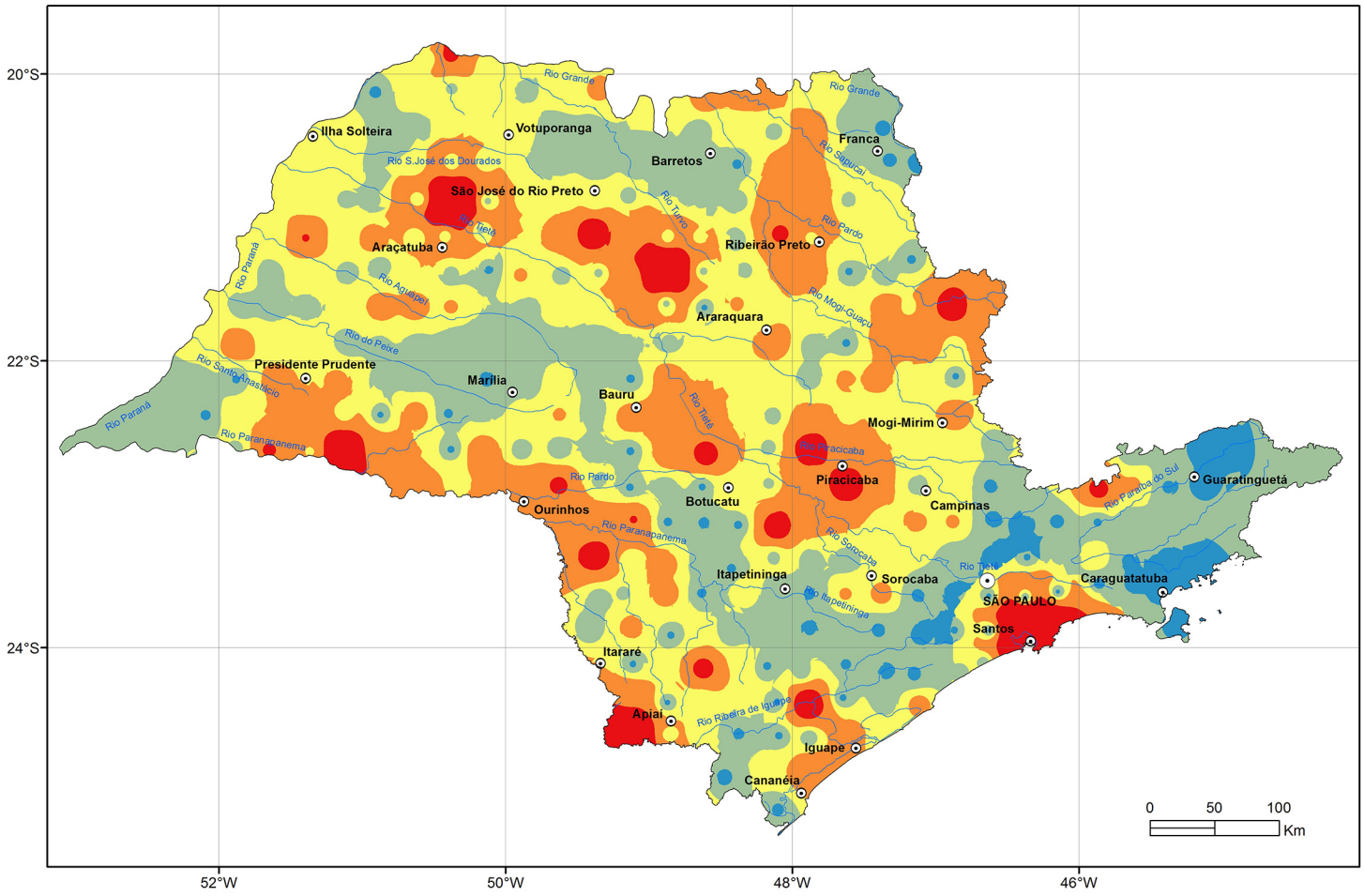


Estatística Descritiva

Elemento	Ca
Limite de detecção (LD)	0,01 (%)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1334
Valor mínimo	<0,01
Valor máximo	3,43
Média	0,08
Mediana	0,05
Variância	0,02
Desvio padrão	0,14
Coeficiente de variação	1,6
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Wedepohl, 1995)	2,94

Cálcio Ca

Solos

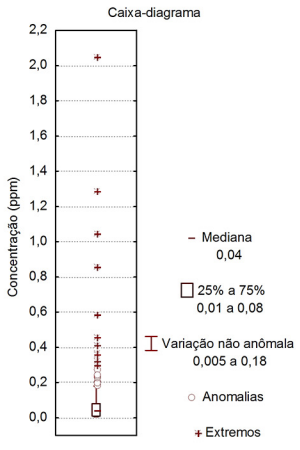


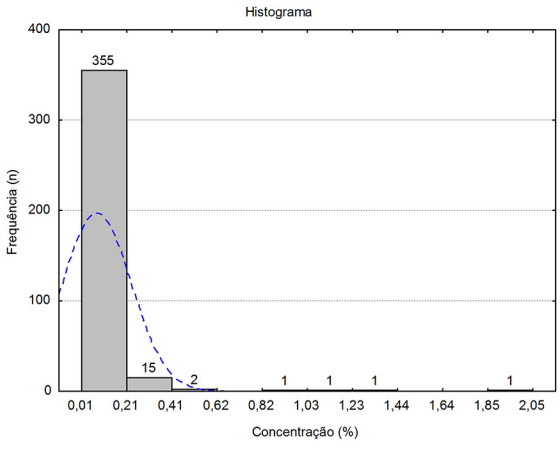
Cálcio (%)

- <0,01 a 0,01
- 0,02 a 0,04
- 0,05 a 0,08
- 0,09 a 0,19
- 0,20 a 2,05

Legenda

- Cidade
- Rio

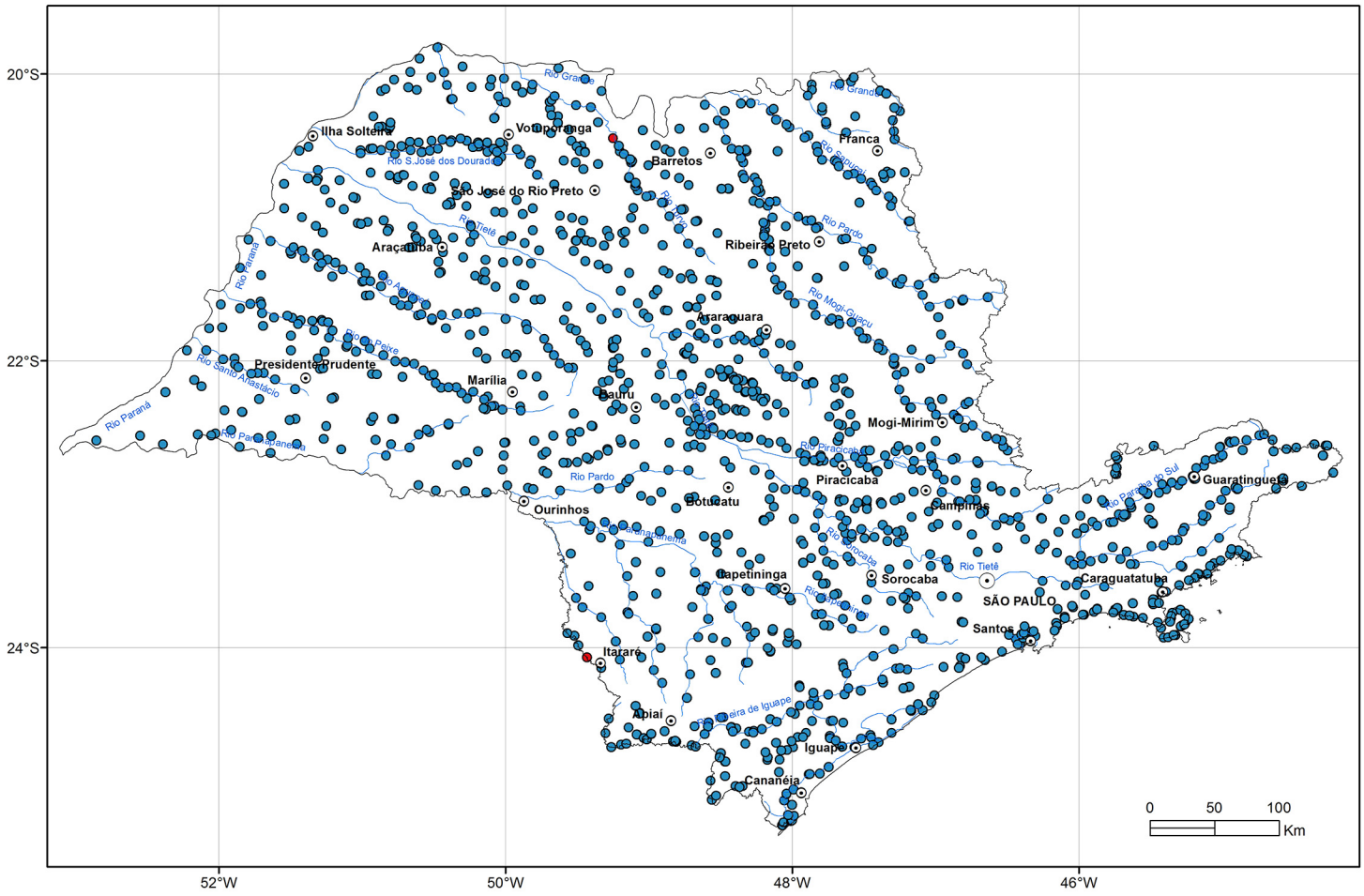




Estatística Descritiva

Elemento	Ca
Limite de Detecção (LD)	0,01 (%)
Número de medidas	376
Resultos > LD	300
Mediana	0,04
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	2,05
Média	0,07
Variância	0,02
Desvio Padrão	0,16
Coeficiente de Variação	2,1
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Wedepohl, 1995)	2,95

Cádmio Cd Águas

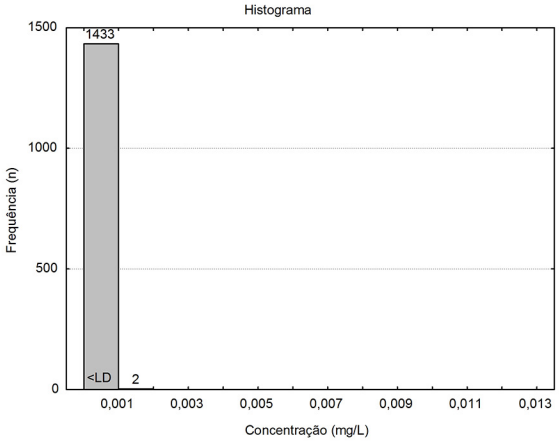


Legenda

- Cidade
- Rio

Cádmio (mg/L)

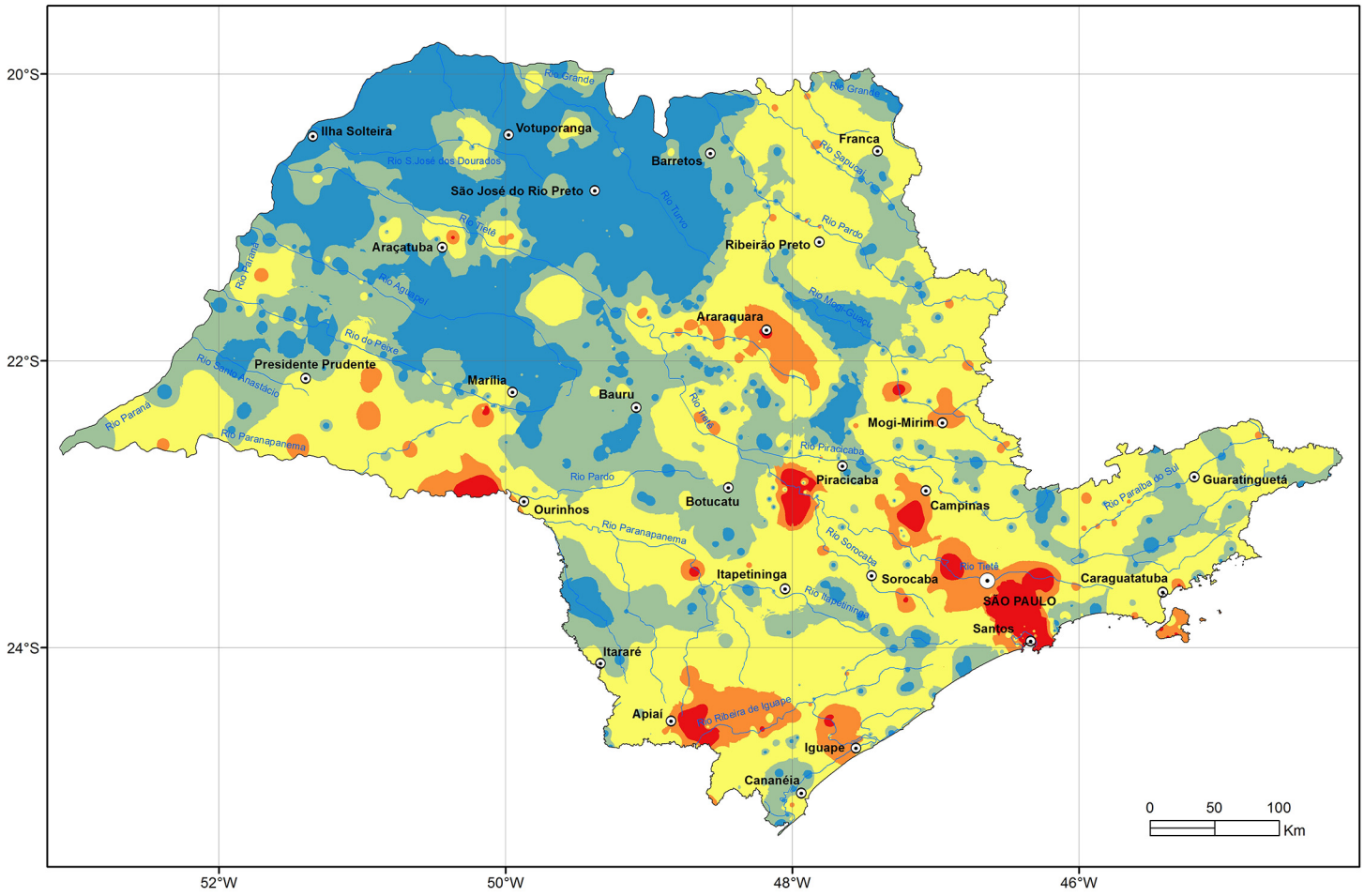
- **<0,001**
- **0,001 a 0,002**



Estatística Descritiva

Elemento	Cd
Limite de Detecção (LD)	0,001 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	2
Valor Mínimo	<0,001
Valor Máximo	0,002
Média	<0,001
Mediana	<0,001
Percentil 75	<0,001
Percentil 90	<0,001
Percentil 98	<0,001
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,001
Referência internacional (CCME, 2014)	0,00009
Referência consumo humano (BRASIL, 2011)	0,005

Cádmio Cd Sedimentos



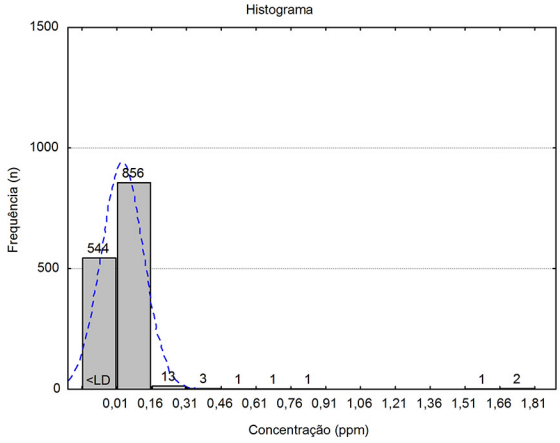
Legenda

- Cidade
- Rio

Cádmio (ppm)

- <0,01
- 0,01 a 0,02
- 0,03 a 0,07
- 0,08 a 0,14
- 0,15 a 0,75

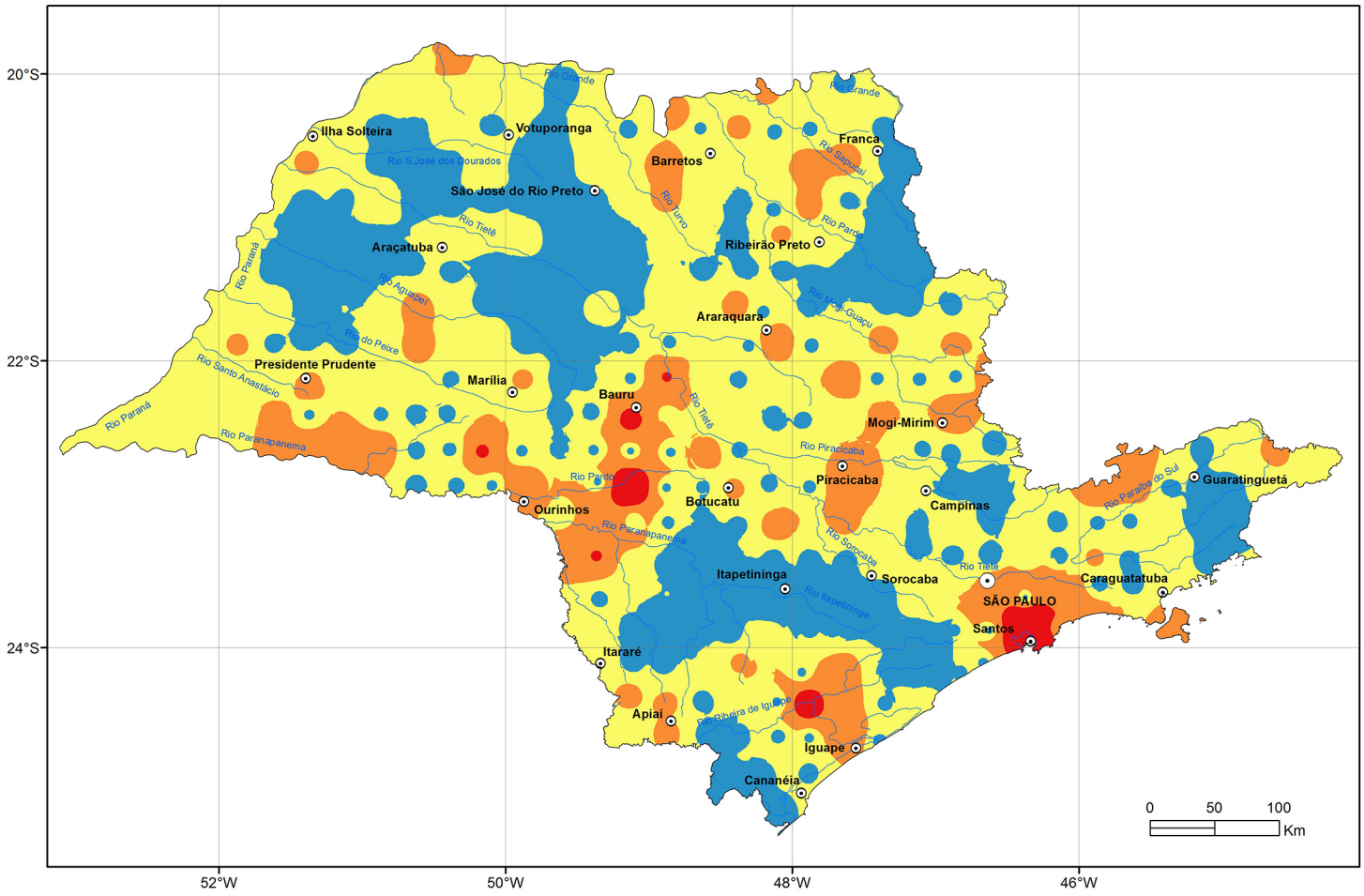
Histograma



Estatística Descritiva

Elemento	Cd
Limite de detecção (LD)	0,01 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	878
Valor mínimo	<0,01
Valor máximo	1,75
Média	0,03
Mediana	0,02
Percentil 75	0,03
Percentil 90	0,07
Percentil 98	0,14
Referência nacional (BRASIL, 2012)	0,60
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,59
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	0,09

Cádmio Cd Solos



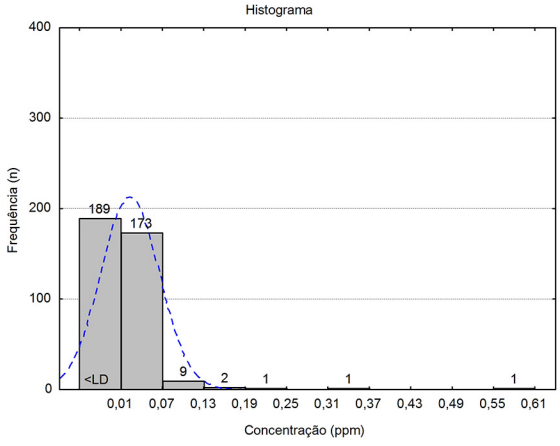
Legenda

Cidade

Rio

Cádmio (ppm)

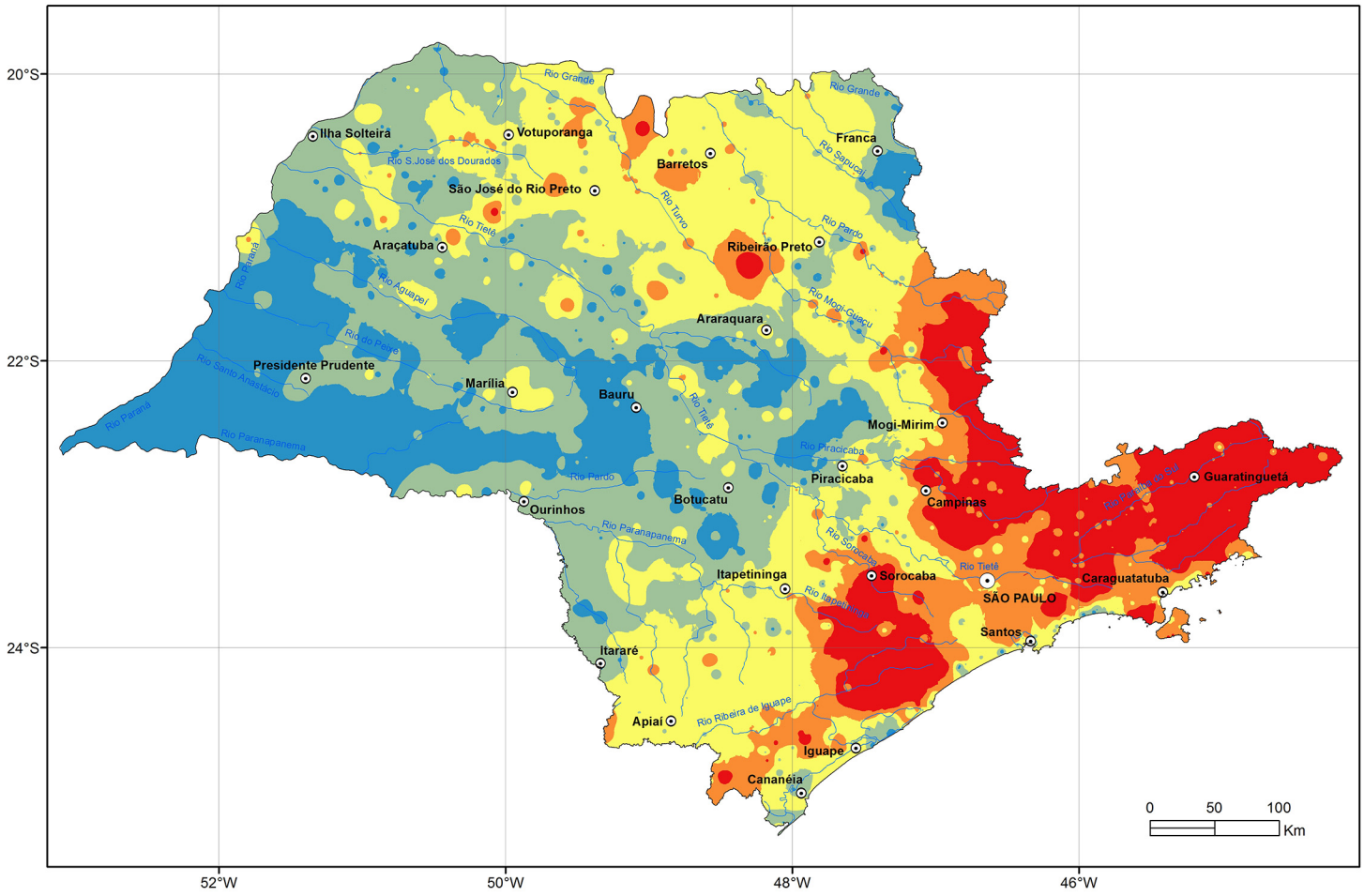
- **<0,01**
- **0,01 a 0,03**
- **0,04 a 0,10**
- **0,11 a 0,59**



Estatística Descritiva

Elemento	Cd
Limite de Detecção (LD)	0,01 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	187
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	0,59
Média	0,02
Mediana	<0,01
Percentil 75	0,03
Percentil 90	0,05
Percentil 98	0,10
Referência nacional (CETESB, 2014)	1,3
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,8
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	0,09

Cério Ce Sedimentos

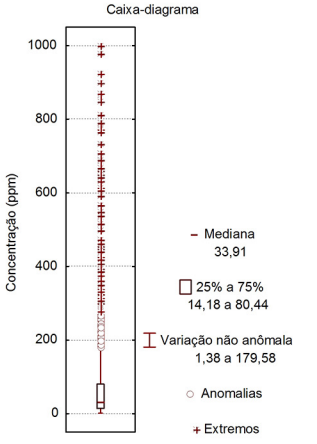


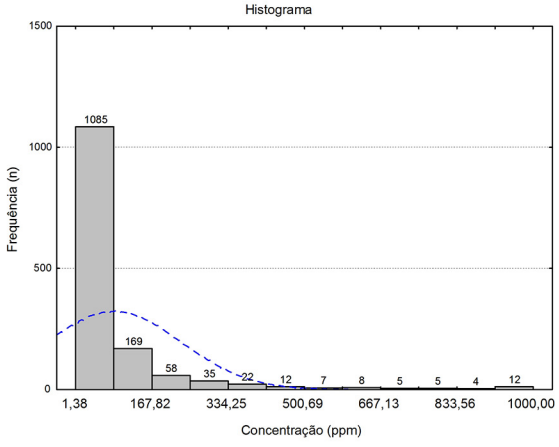
Cério (ppm)

- 1,38 a 14,18
- 14,19 a 33,91
- 33,92 a 80,44
- 80,45 a 179,83
- 179,8 a >1.000,0

Legenda

- Cidade
- Rio



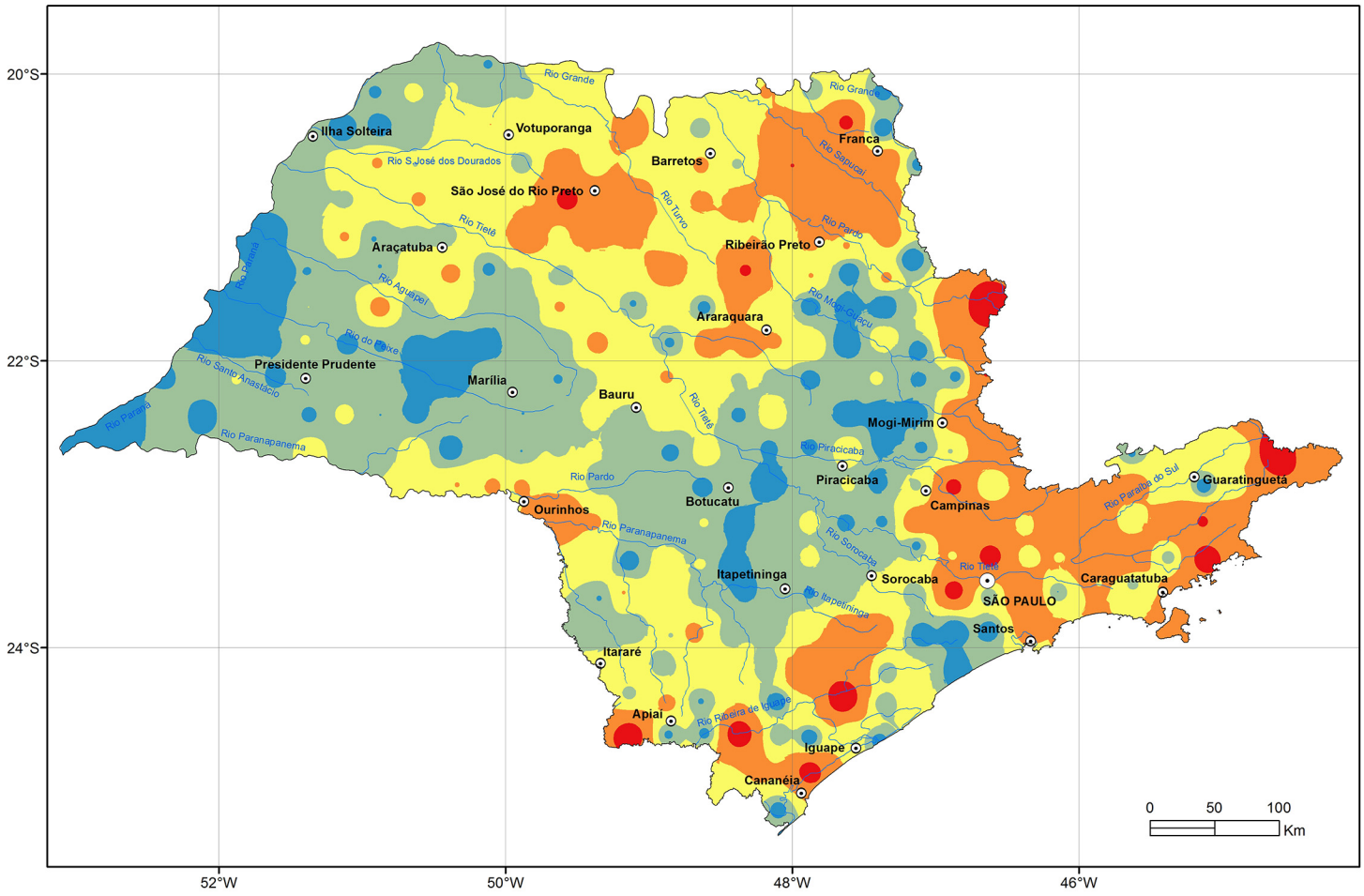


Estatística Descritiva

Elemento	Ce
Limite de detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1422
Valor mínimo	1,38
Valor máximo	>1.000,00
Média	83,72
Mediana	33,91
Variância	21.399,85
Desvio padrão	146,29
Coeficiente de variação	1,7
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	63

Cério Ce

Solos

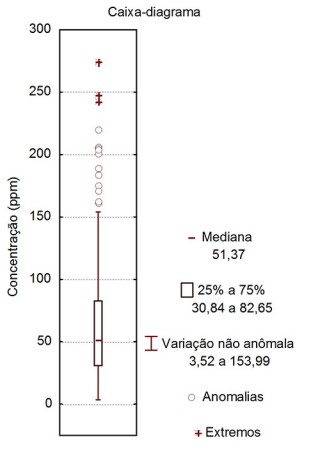


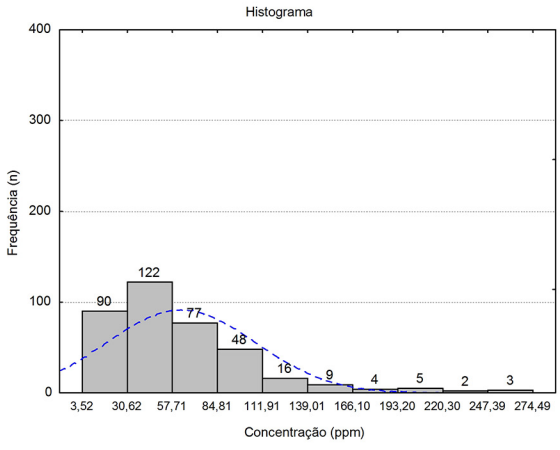
Cério (ppm)

- 3,52 a 30,84
- 30,85 a 51,37
- 31,38 a 82,65
- 82,66 a 160,37
- 160,38 a 274,49

Legenda

- Cidade
- Rio



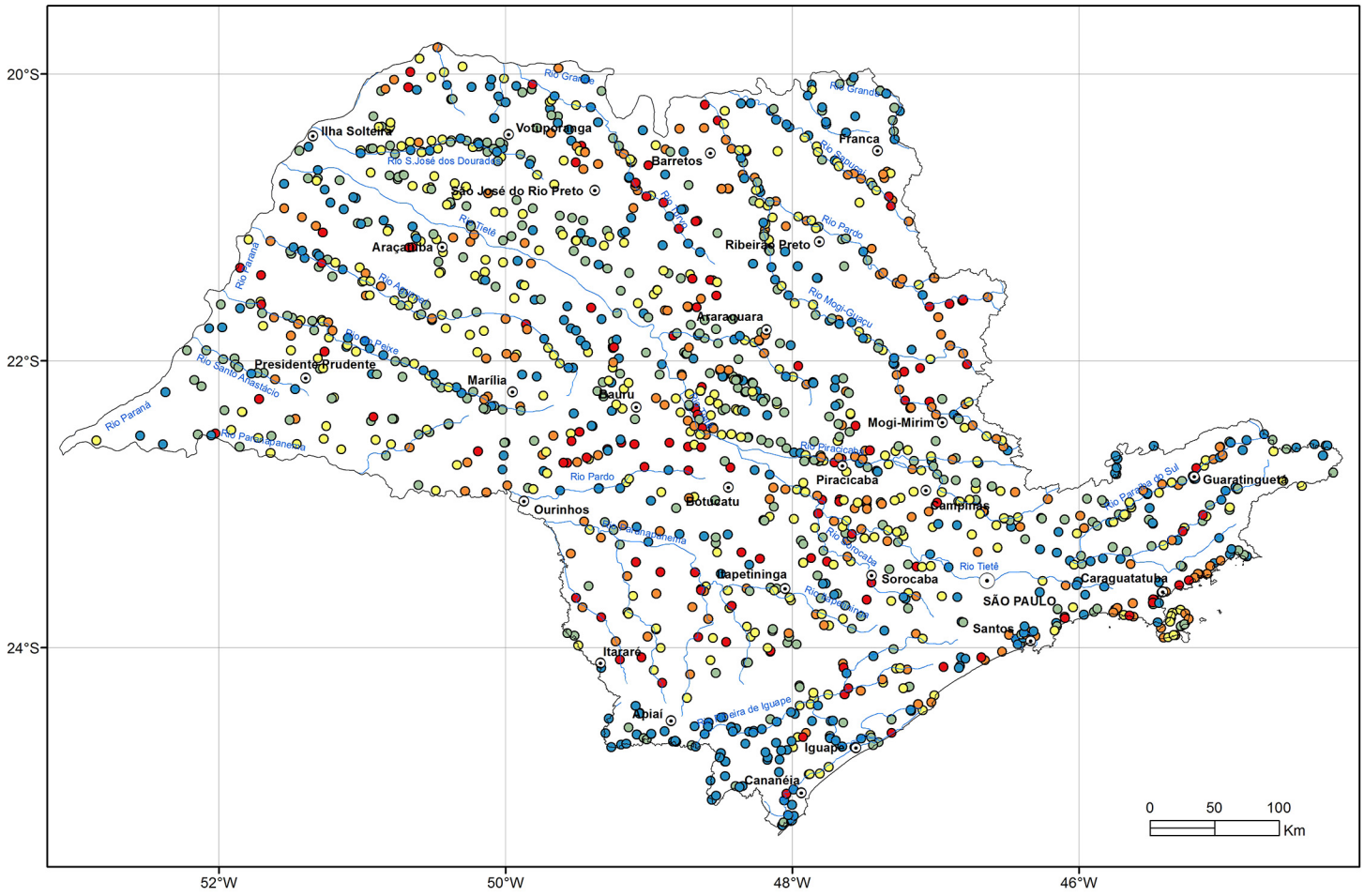


Estatística Descritiva

Elemento	Ce
Limite de Detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	51,37
Valor Mínimo	3,52
Valor Máximo	274,49
Média	62,47
Variância	1.984,5
Desvio Padrão	44,55
Coeficiente de Variação	0,71
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	63

Cloreto Cl^-

Águas

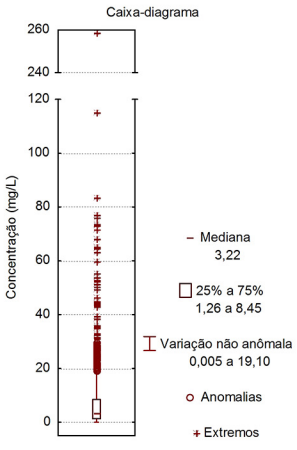


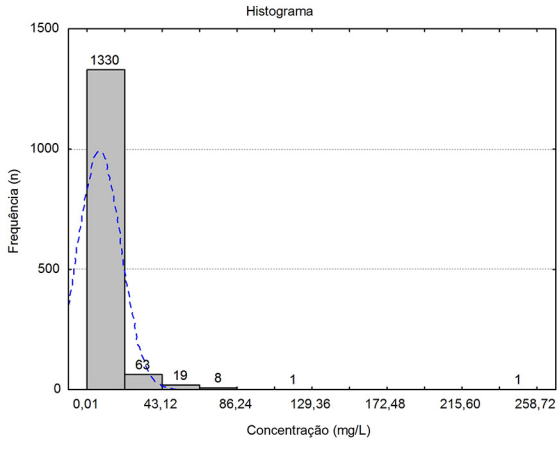
Cloreto (mg/L)

- **<0,01 a 1,26**
- **1,27 a 3,22**
- **3,23 a 8,45**
- **8,46 a 19,24**
- **19,25 a 258,72**

Legenda

- Cidade
- Rio

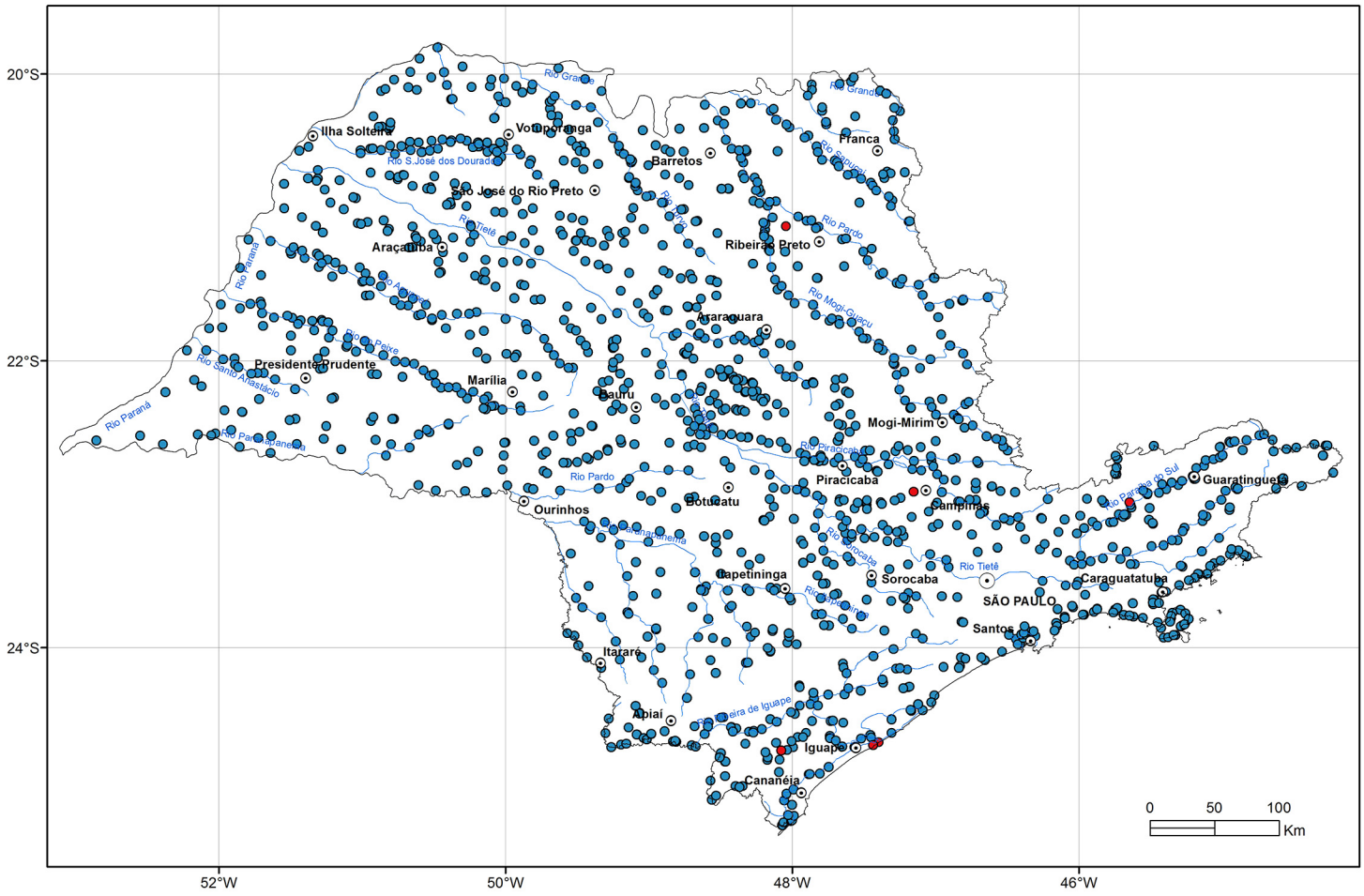




Estatística Descritiva

Elemento	Cl^-
Limite de Detecção (LD)	0,01 (mg/L)
Número de medidas	1422
Resultos > LD	1421
Valor Mínimo	0,01
Valor Máximo	258,72
Média	7,03
Mediana	3,22
Variância	151,66
Desvio Padrão	12,31
Coeficiente de Variação	1,8
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência consumo humano	-

Cobalto Co Águas



Legenda

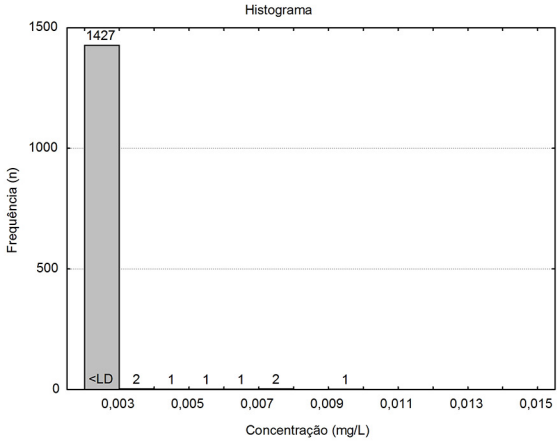
Cidade

Rio

Cobalto (mg/L)

<0,003

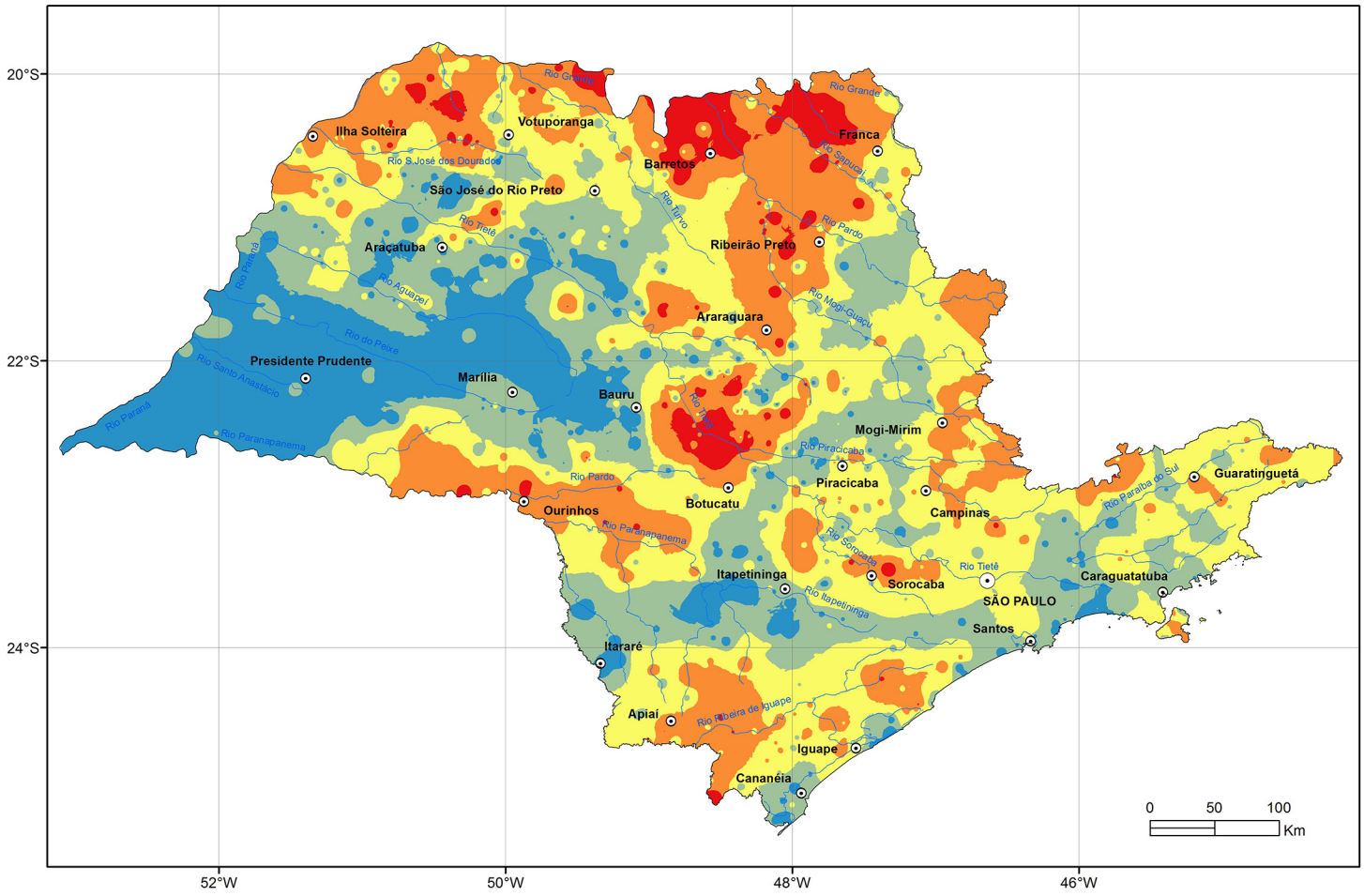
0,003 a 0,010



Estatística Descritiva

Elemento	Co
Limite de Detecção (LD)	0,003 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	8
Valor Mínimo	<0,003
Valor Máximo	0,010
Média	<0,003
Mediana	<0,003
Percentil 75	<0,003
Percentil 90	<0,003
Percentil 98	<0,003
Referência internacional (BRASIL, 2005)	0,05
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,003
Referência consumo humano (CETESB, 2014)	0,07

Cobalto Co Sedimentos

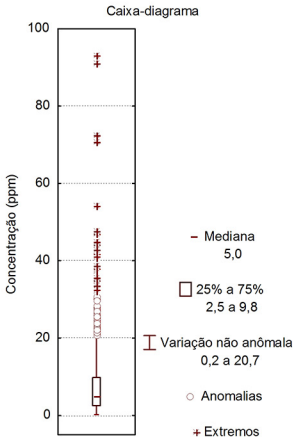


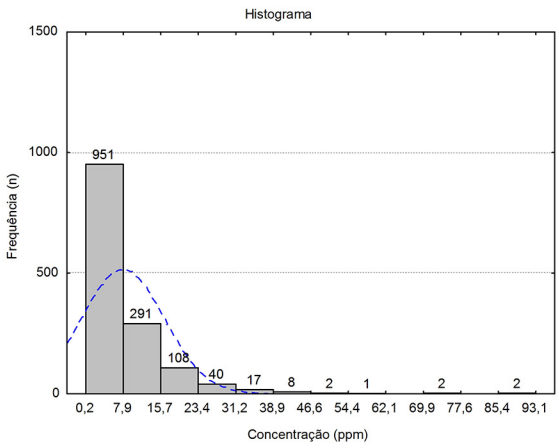
Cobalto (ppm)

- 0,2 a 2,5
- 2,6 a 5,0
- 5,1 a 9,8
- 9,9 a 20,7
- 20,9 a 93,1

Legenda

- Cidade
- Rio

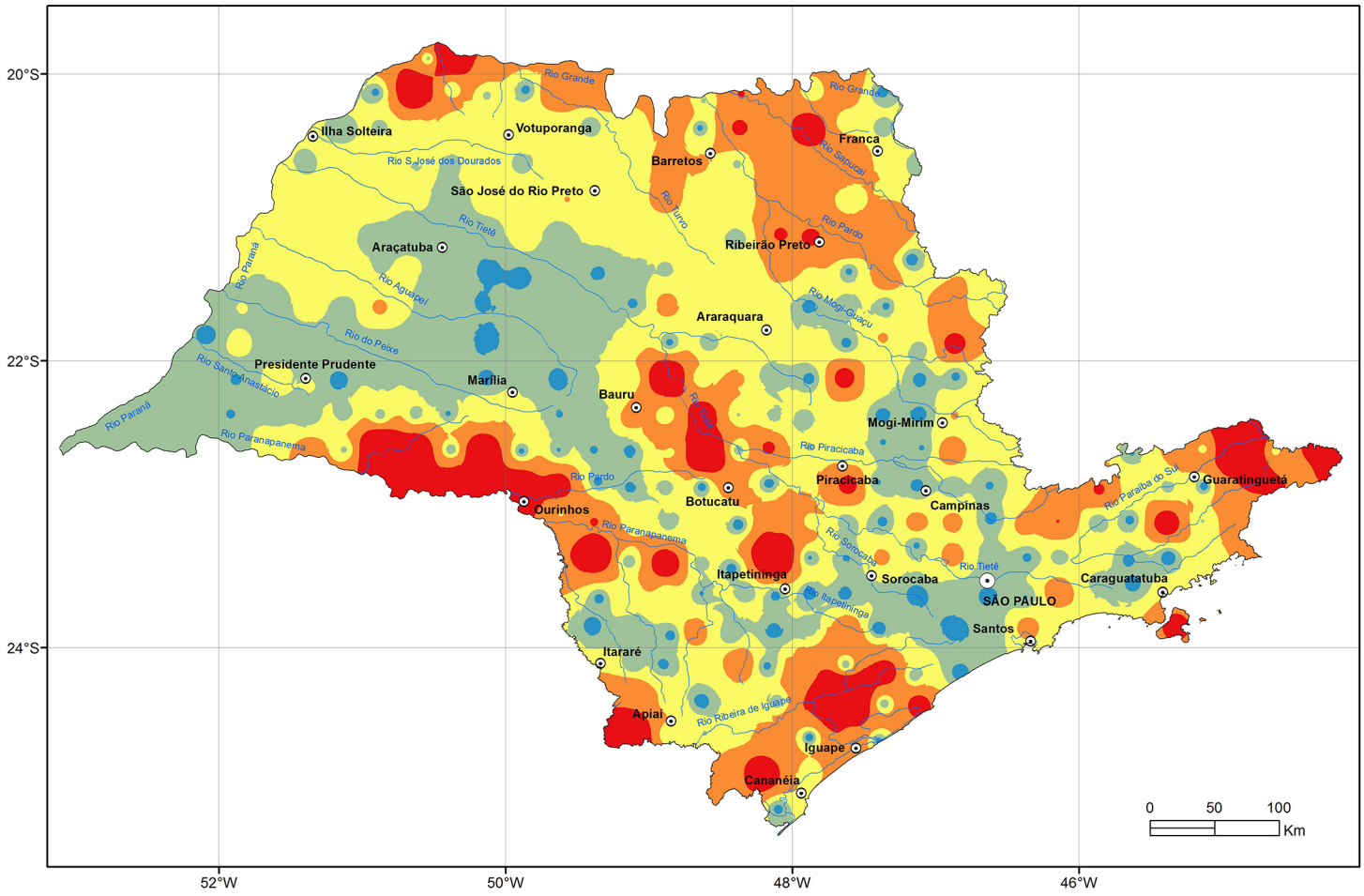




Estatística Descritiva

Elemento	Co
Limite de detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1422
Valor mínimo	0,2
Valor máximo	93,1
Média	7,8
Mediana	5,1
Variância	72,7
Desvio padrão	8,5
Coeficiente de variação	1,1
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	17,3

Cobalto Co Solos

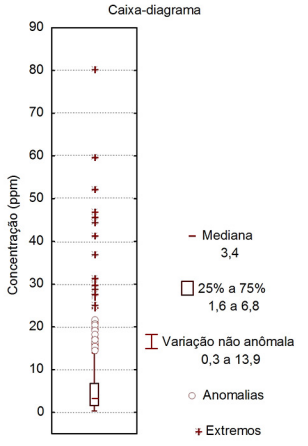


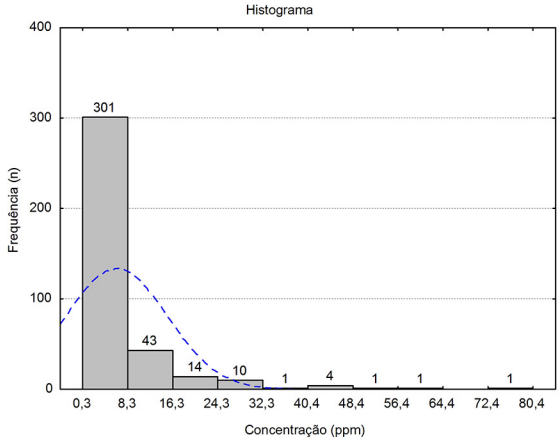
Cobalto (ppm)

- 0,3 a 1,6
- 1,7 a 3,4
- 3,5 a 6,8
- 6,9 a 14,5
- 14,6 a 80,4

Legenda

- Cidade
- Rio



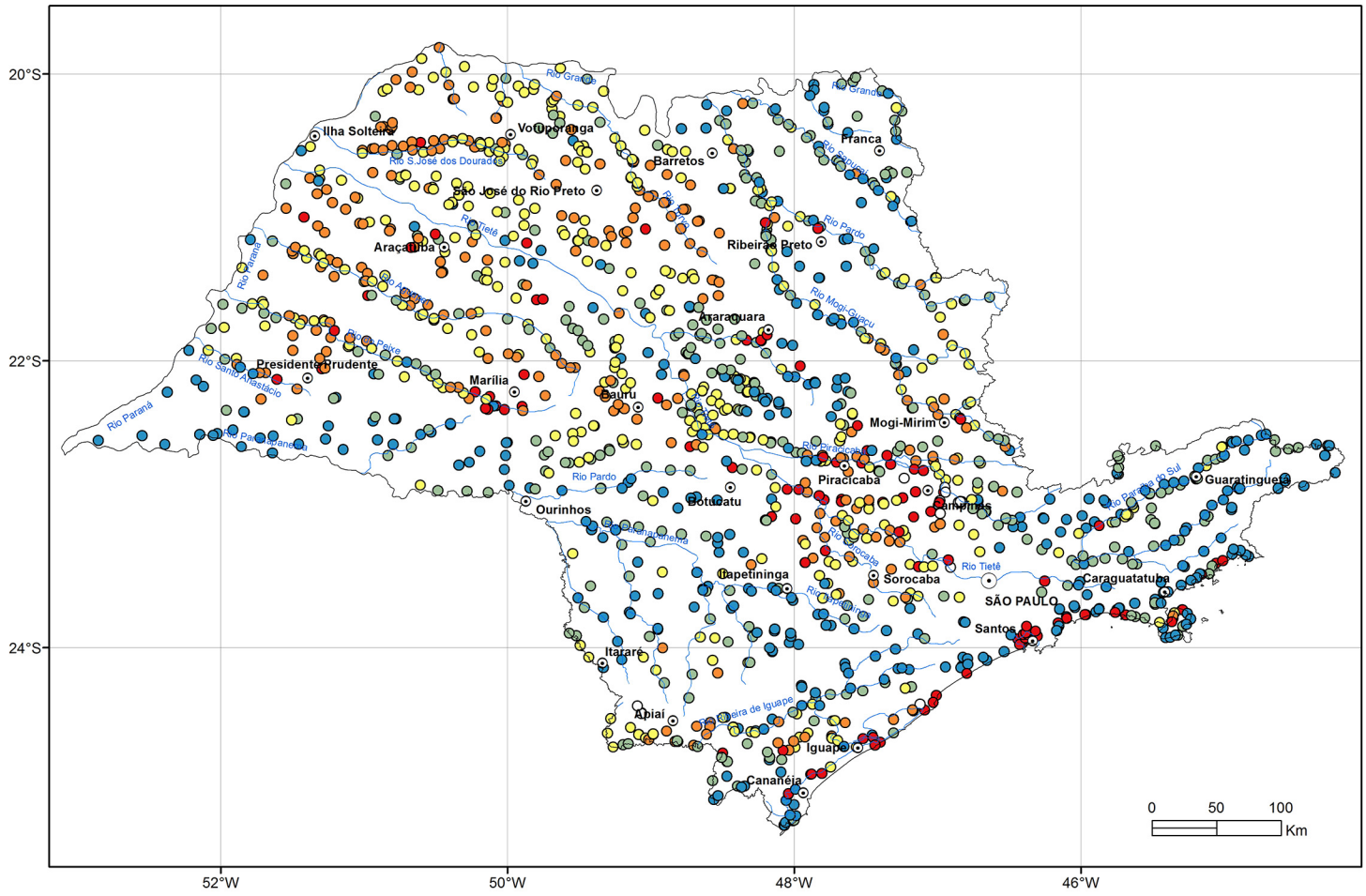


Estatística Descritiva

Elemento	Co
Limite de Detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	3,40
Valor Mínimo	0,3
Valor Máximo	80,4
Média	6,3
Variância	80,9
Desvio Padrão	9,0
Coeficiente de Variação	1,4
Referência nacional (CETESB, 2014)	25
Referência internacional (Buchman, 2008)	2,4
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	17,3

Condutividade Elétrica - CE

Águas

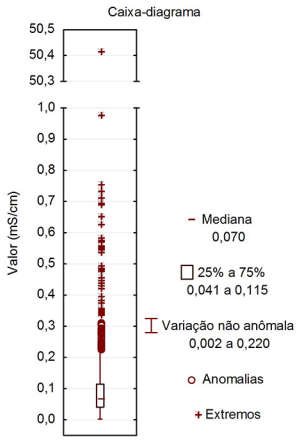


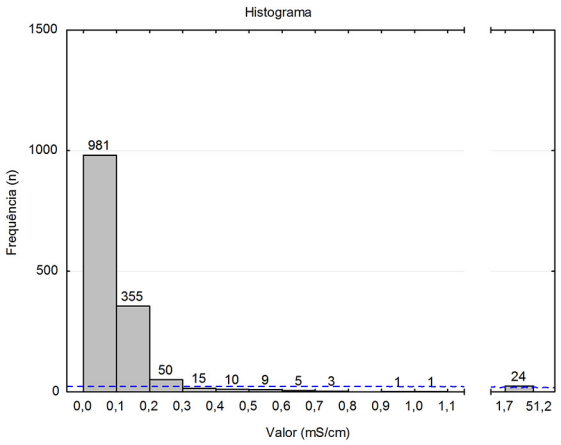
Legenda

- Cidade
- Rio

CE

- sem análise
- 0,002 a 0,041
- 0,042 a 0,070
- 0,071 a 0,115
- 0,116 a 0,225
- 0,226 a 51,190

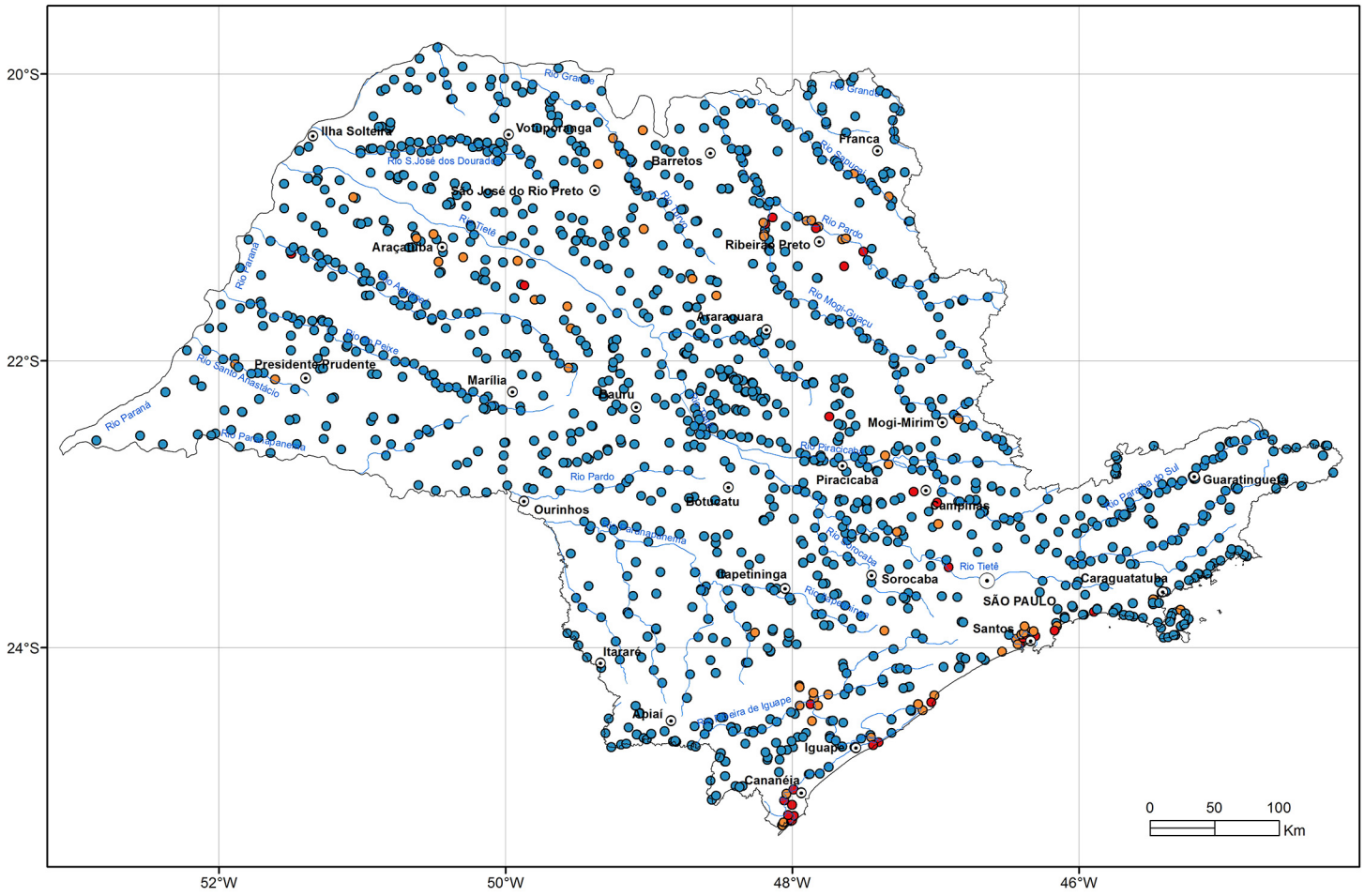




Estatística Descritiva

Parâmetro	CE
Intervalo de medida	0 a 500 mS/cm
Resolução	0,001
Número de medidas	1454
Valor Mínimo	0,002
Valor Máximo	51,190
Média	0,330
Mediana	0,070
Variância	6,697
Desvio Padrão	2,588
Coeficiente de Variação	7,8
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência consumo humano	-

Cromo Cr Águas

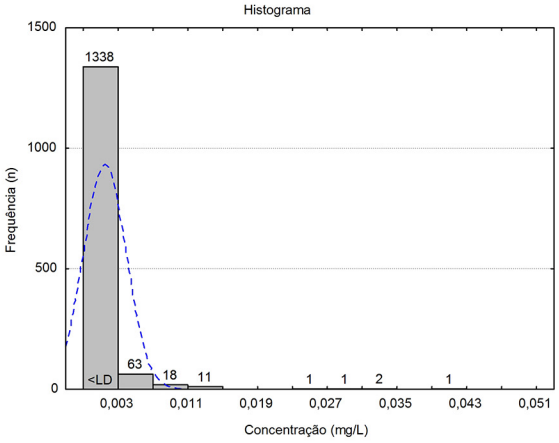


Legenda

- Cidade
- Rio

Cromo (mg/L)

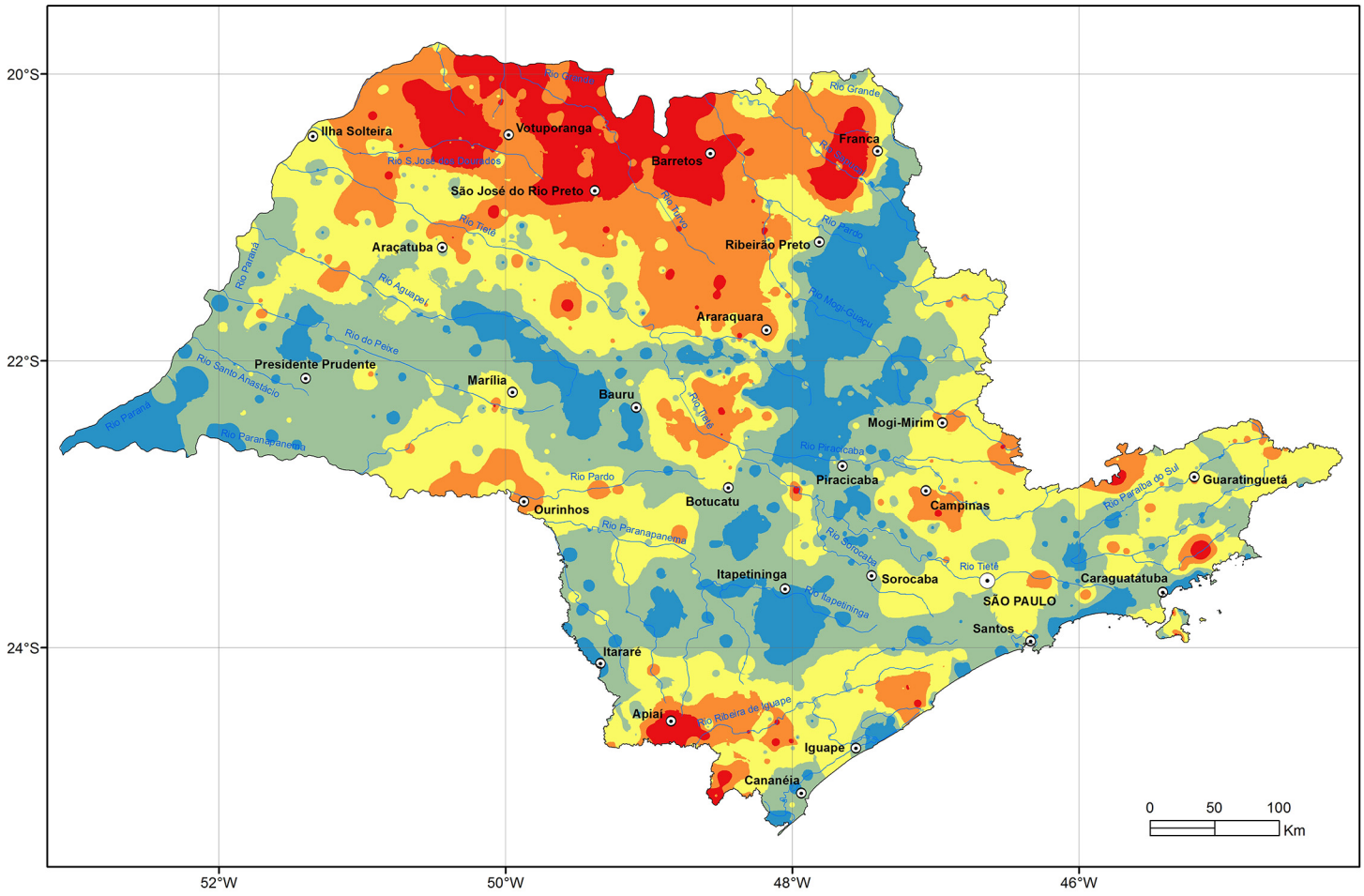
- **<0,003**
- **0,003 a 0,009**
- **0,010 a 0,042**



Estatística Descritiva

Elemento	Cr
Limite de Detecção (LD)	0,003 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	97
Valor Mínimo	<0,003
Valor Máximo	0,042
Média	<0,003
Mediana	<0,003
Percentil 75	<0,003
Percentil 90	<0,003
Percentil 98	0,009
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,05
Referência internacional	-
Referência consumo humano (BRASIL, 2008)	0,05

Cromo Cr Sedimentos

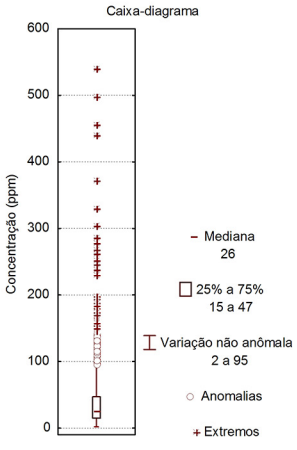


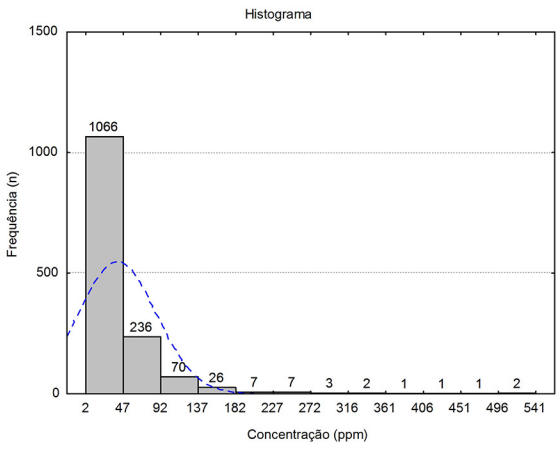
Cromo (ppm)

- 2 a 15
- 16 a 26
- 27 a 47
- 48 a 95
- 96 a 541

Legenda

- Cidade
- Rio

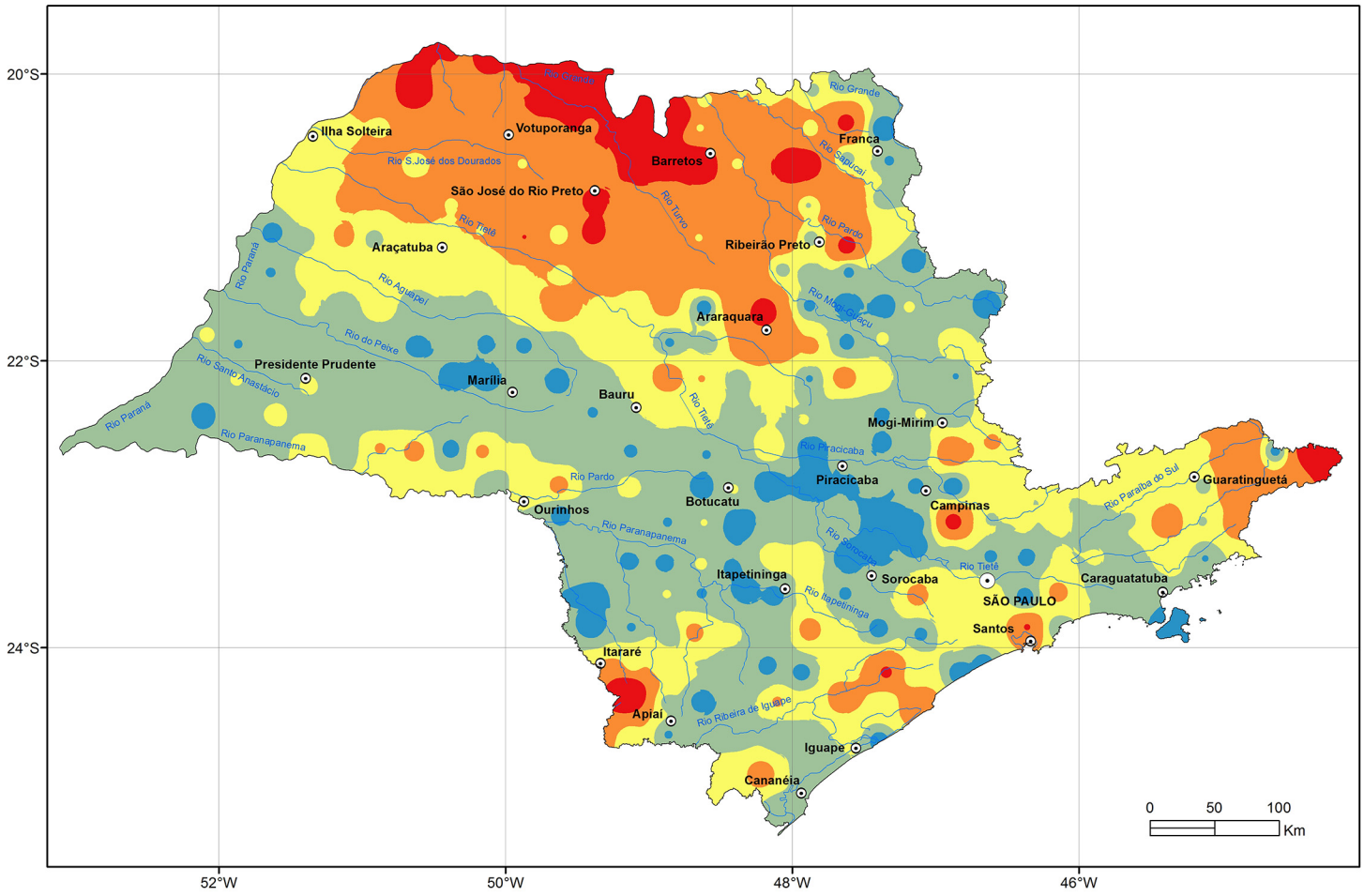




Estatística Descritiva

Elemento	Cr
Limite de detecção (LD)	1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1422
Valor mínimo	2
Valor máximo	541
Média	40
Mediana	26
Variância	2.169
Desvio padrão	47
Coeficiente de variação	1,2
Referência nacional (BRASIL, 2012)	37,3
Referência internacional (Buchman, 2008)	37,3
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	92

Cromo Cr Solos

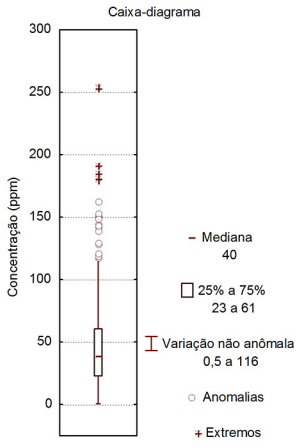


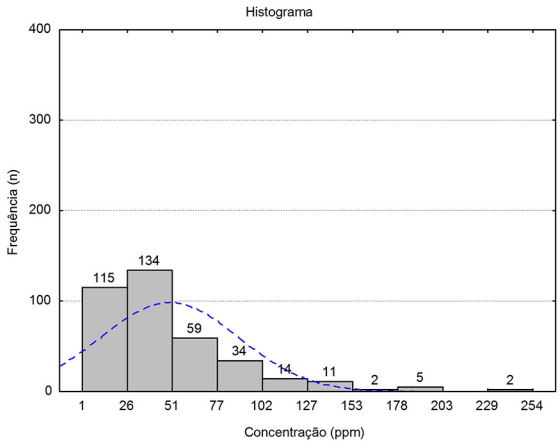
Legenda

- Cidade
- Rio

Cromo (ppm)

- <1 a 23
- 24 a 40
- 41 a 61
- 62 a 117
- 118 a 254

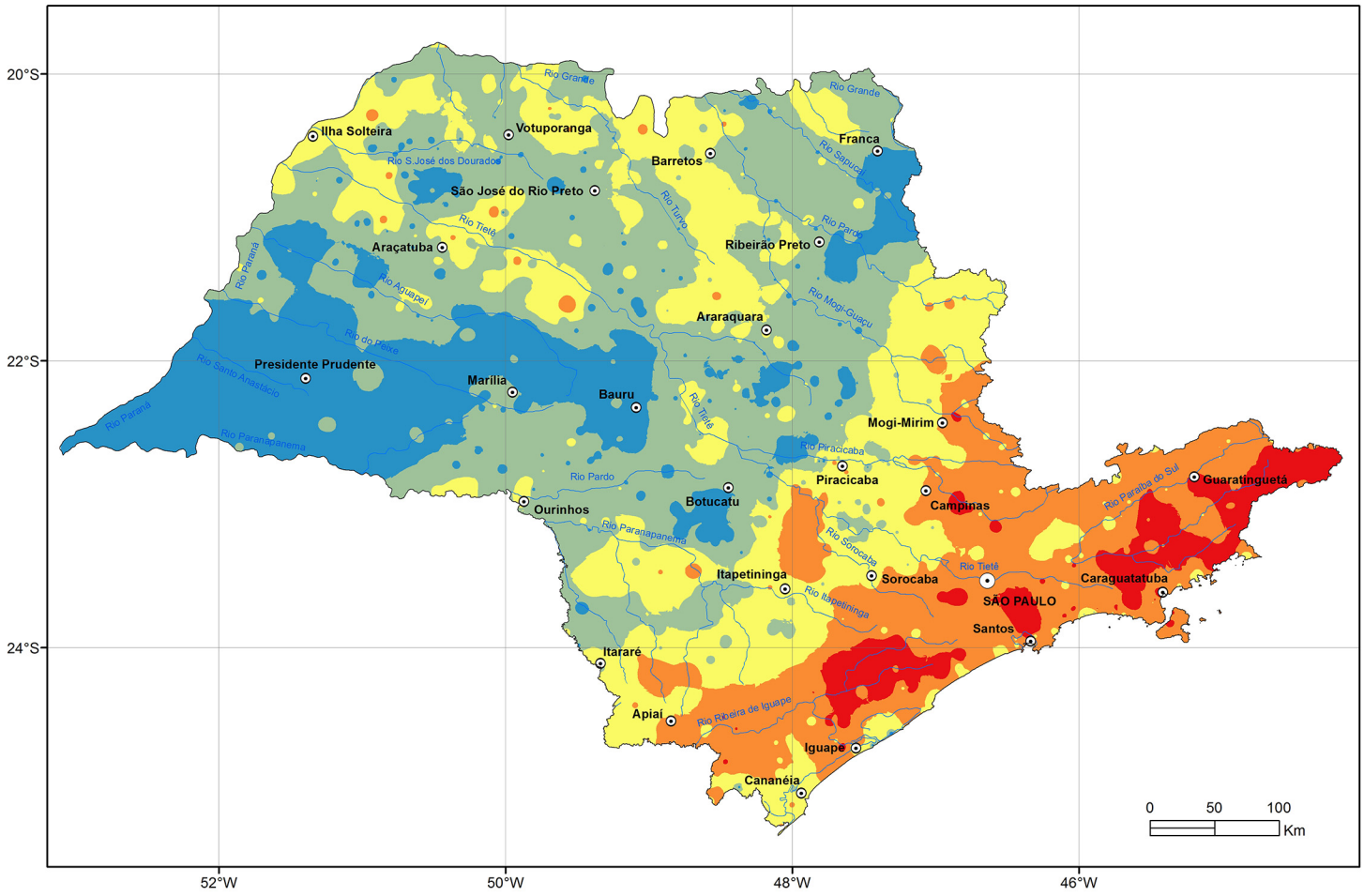




Estatística Descritiva

Elemento	Cr
Limite de Detecção (LD)	1 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	375
Mediana	40
Valor Mínimo	<1
Valor Máximo	254
Média	49
Variância	1.498
Desvio Padrão	39
Coeficiente de Variação	0,8
Referência nacional (CETESB, 2014)	75
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,38
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	92

Césio Cs Sedimentos

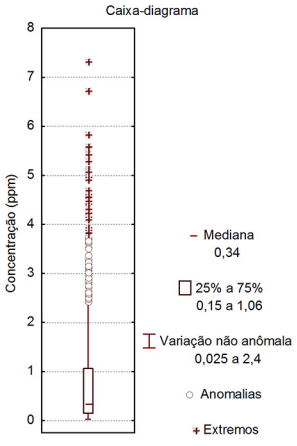


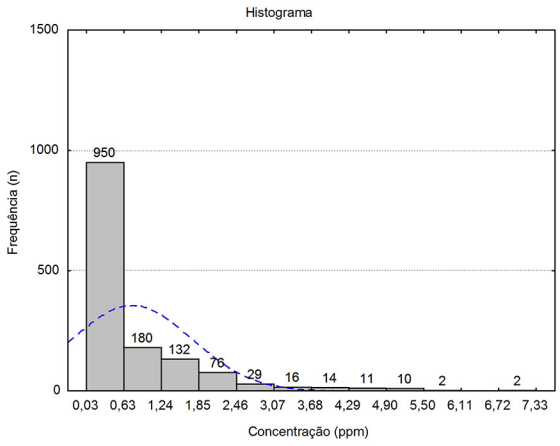
Césio (ppm)

- <0,05 a 0,15
- 0,16 a 0,34
- 0,35 a 1,06
- 1,07 a 2,42
- 2,43 a 7,33

Legenda

- Cidade
- Rio



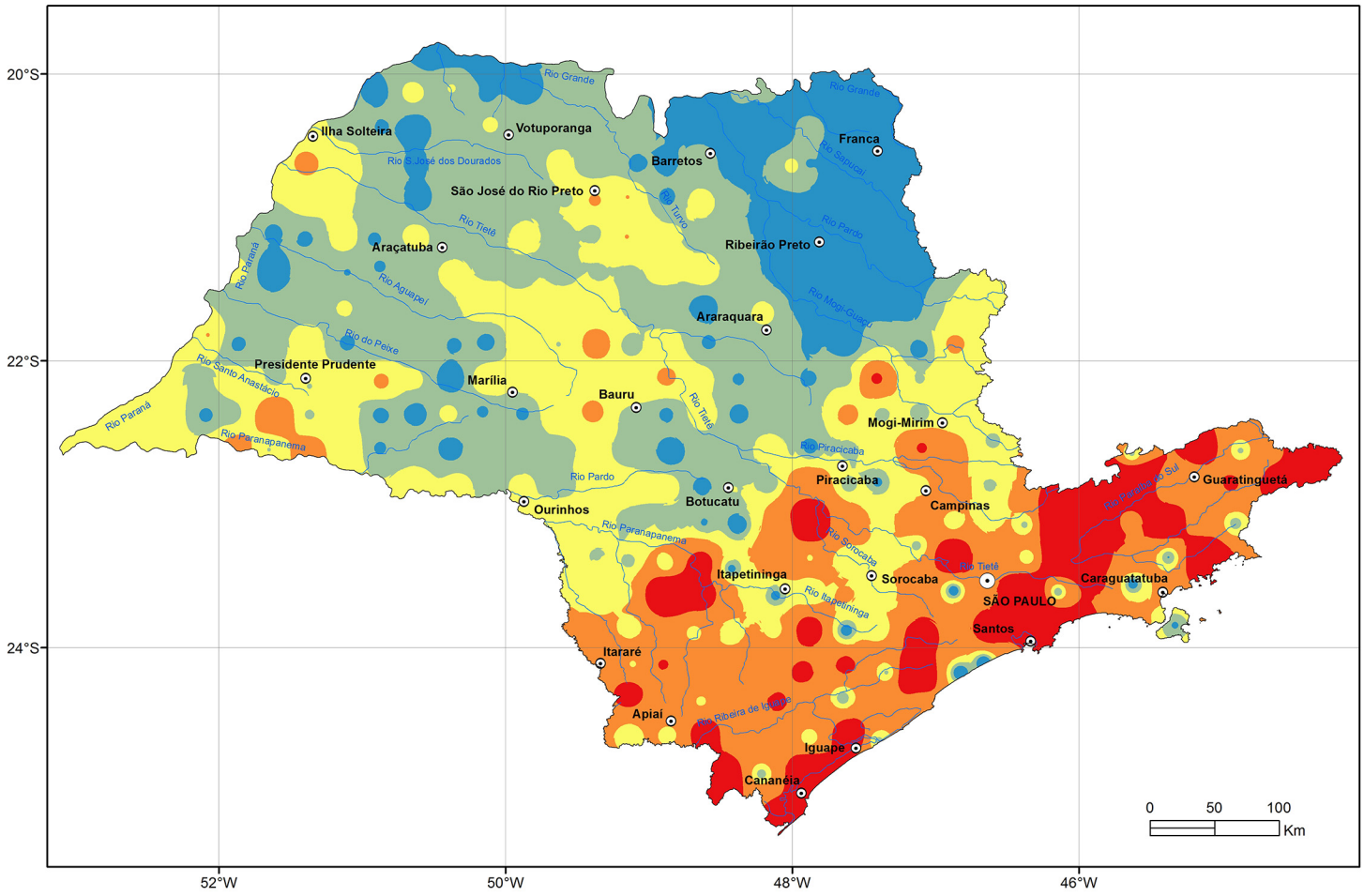


Estatística Descritiva

Elemento	Cs
Limite de detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1417
Valor mínimo	<0,05
Valor máximo	7,33
Média	0,76
Mediana	0,34
Variância	0,95
Desvio padrão	0,97
Coeficiente de variação	1,29
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	4,9

Césio Cs

Solos

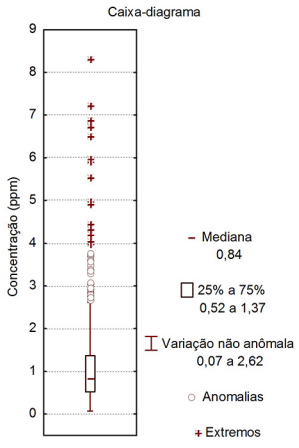


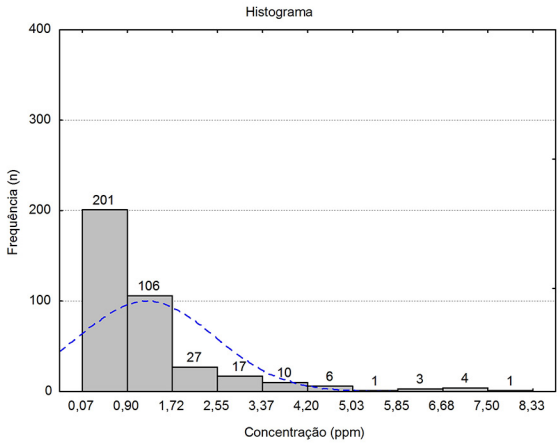
Legenda

- Cidade
- Rio

Césio (ppm)

- 0,07 a 0,52
- 0,53 a 0,84
- 0,85 a 1,37
- 1,38 a 2,65
- 2,66 a 8,33

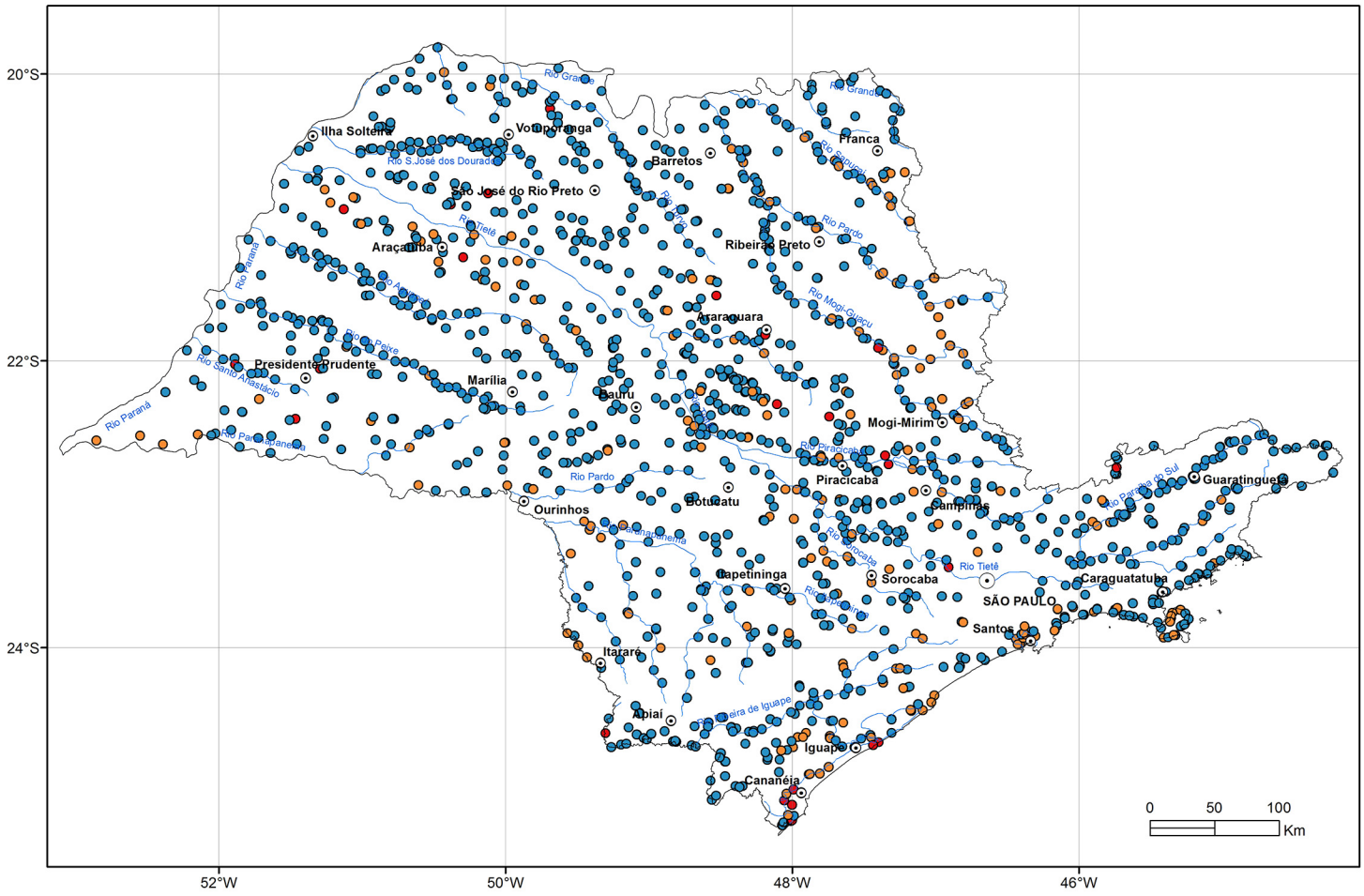




Estatística Descritiva

Elemento	Cs
Limite de Detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	0,84
Valor Mínimo	0,07
Valor Máximo	8,33
Média	1,24
Variância	1,54
Desvio Padrão	1,24
Coeficiente de Variação	1,0
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	4,9

Cobre Cu Águas

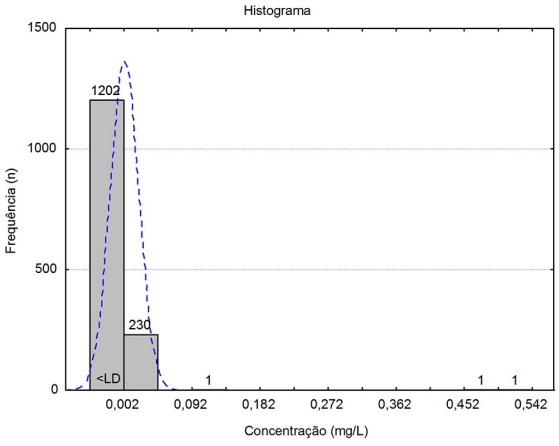


Legenda

- Cidade
- Rio

Cobre (mg/L)

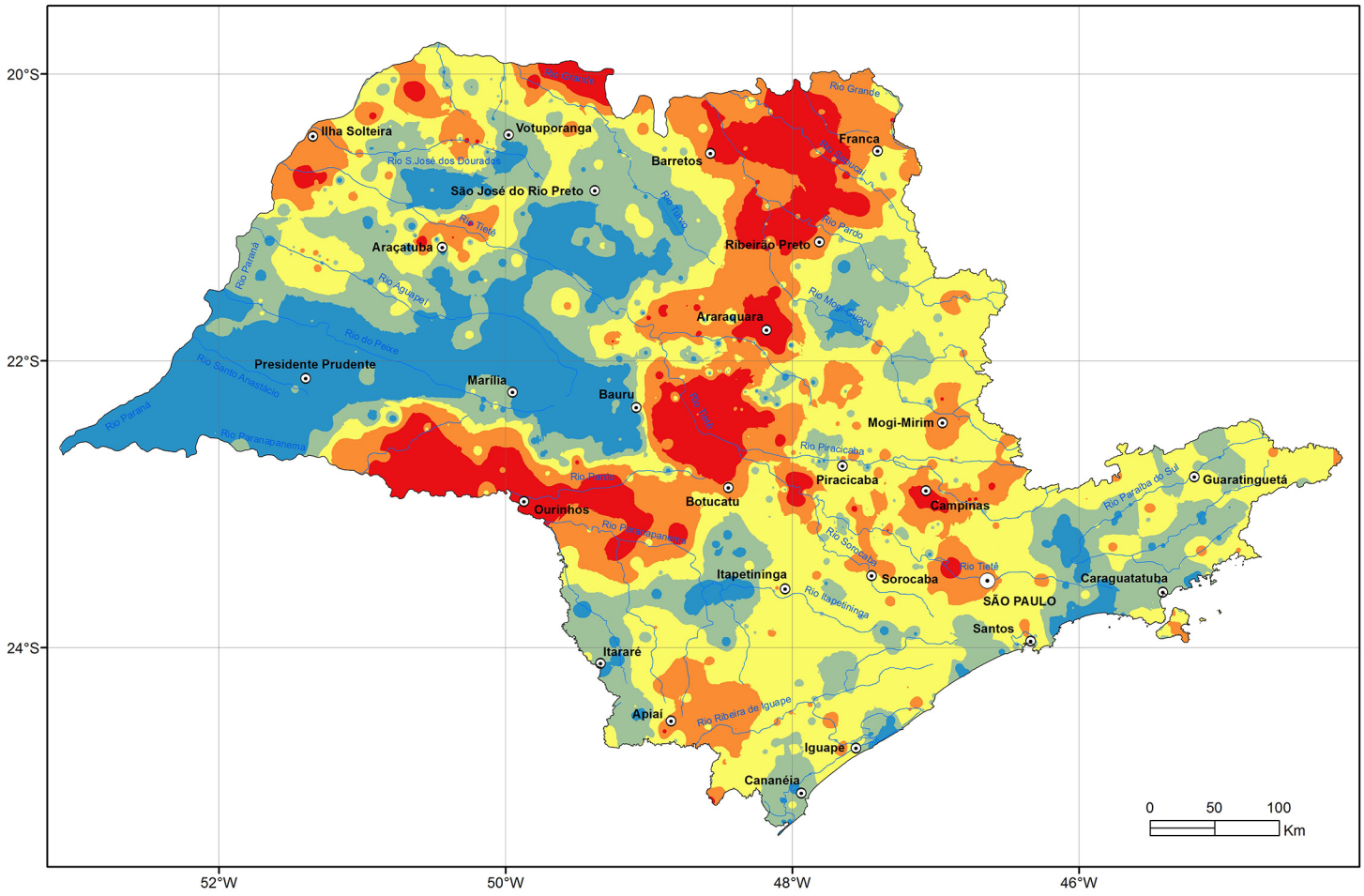
- **<0,002**
- **0,002 a 0,007**
- **0,008 a 0,539**



Estatística Descritiva

Elemento	Cu
Limite de Detecção (LD)	0,002 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	233
Valor Mínimo	<0,002
Valor Máximo	0,539
Média	0,002
Mediana	<0,002
Percentil 75	<0,002
Percentil 90	0,003
Percentil 98	0,007
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,009
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,009
Referência consumo humano (BRASIL, 2011)	0,2

Cobre Cu Sedimentos

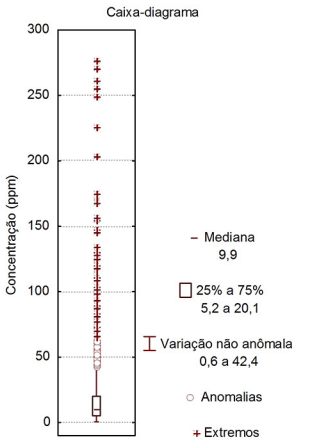


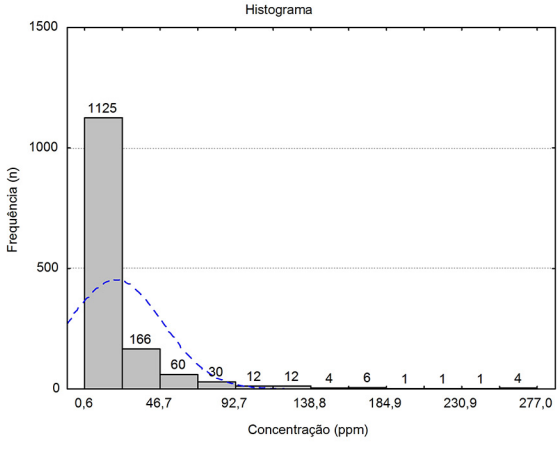
Legenda

- Cidade
- Rio

Cobre (ppm)

- 0,6 a 5,2
- 5,3 a 9,9
- 10,0 a 20,1
- 20,2 a 42,4
- 42,5 a 277,0

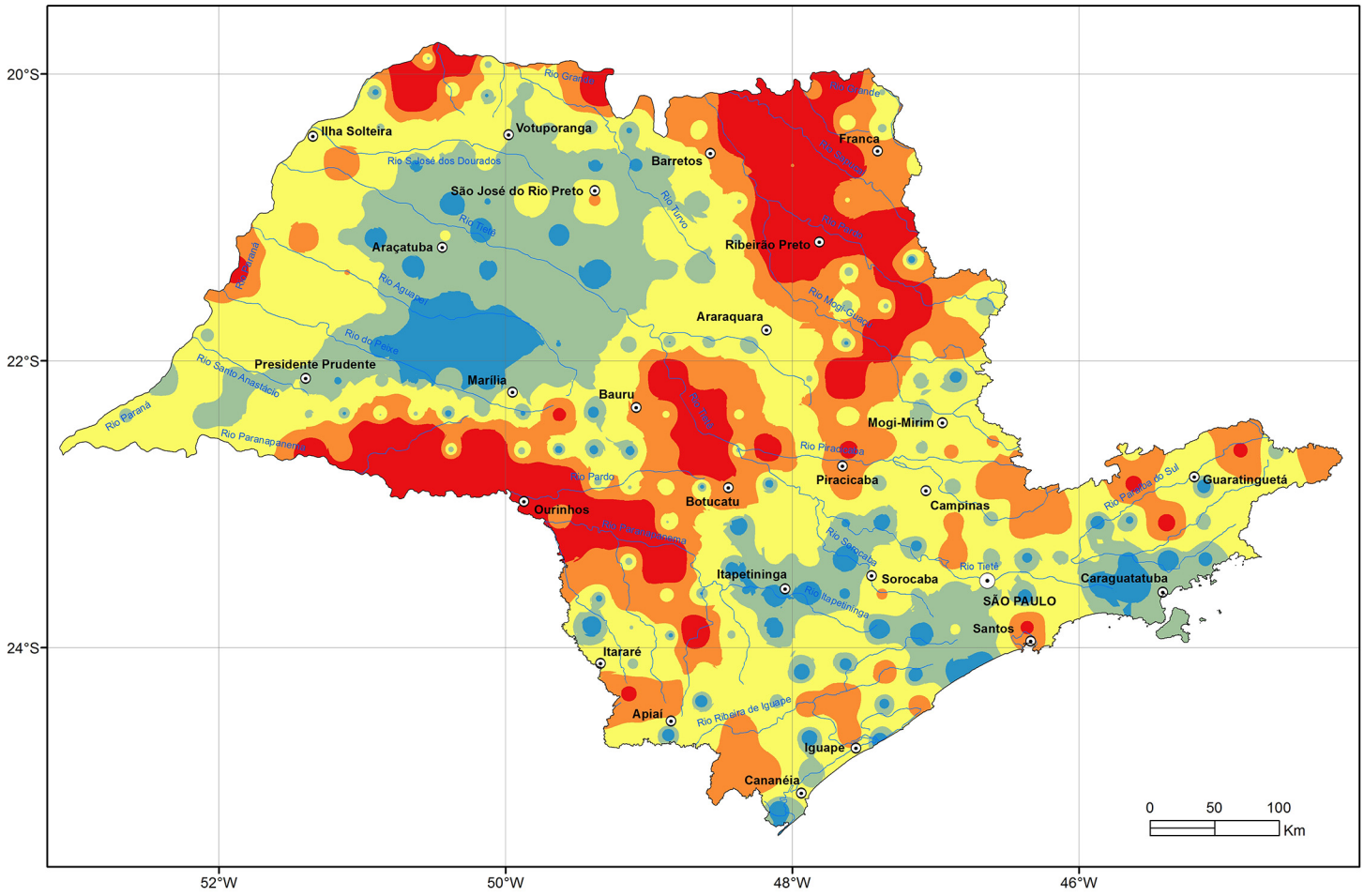




Estatística Descritiva

Elemento	Cu
Limite de detecção (LD)	0,5 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1422
Valor mínimo	0,6
Valor máximo	277,0
Média	19,3
Mediana	9,9
Variância	835,1
Desvio padrão	28,9
Coeficiente de variação	1,5
Referência nacional (BRASIL, 2012)	35,7
Referência internacional (Buchman, 2008)	35,7
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	28

Cobre Cu Solos

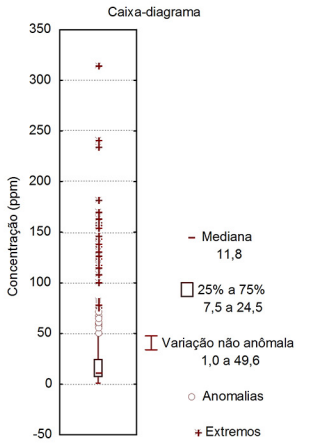


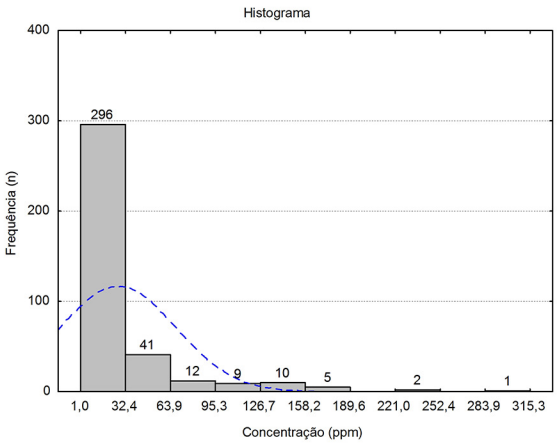
Legenda

- Cidade
- Rio

Cobre (ppm)

- 1,0 a 7,5
- 7,6 a 11,8
- 11,9 a 24,5
- 24,6 a 49,9
- 50,0 a 315,3



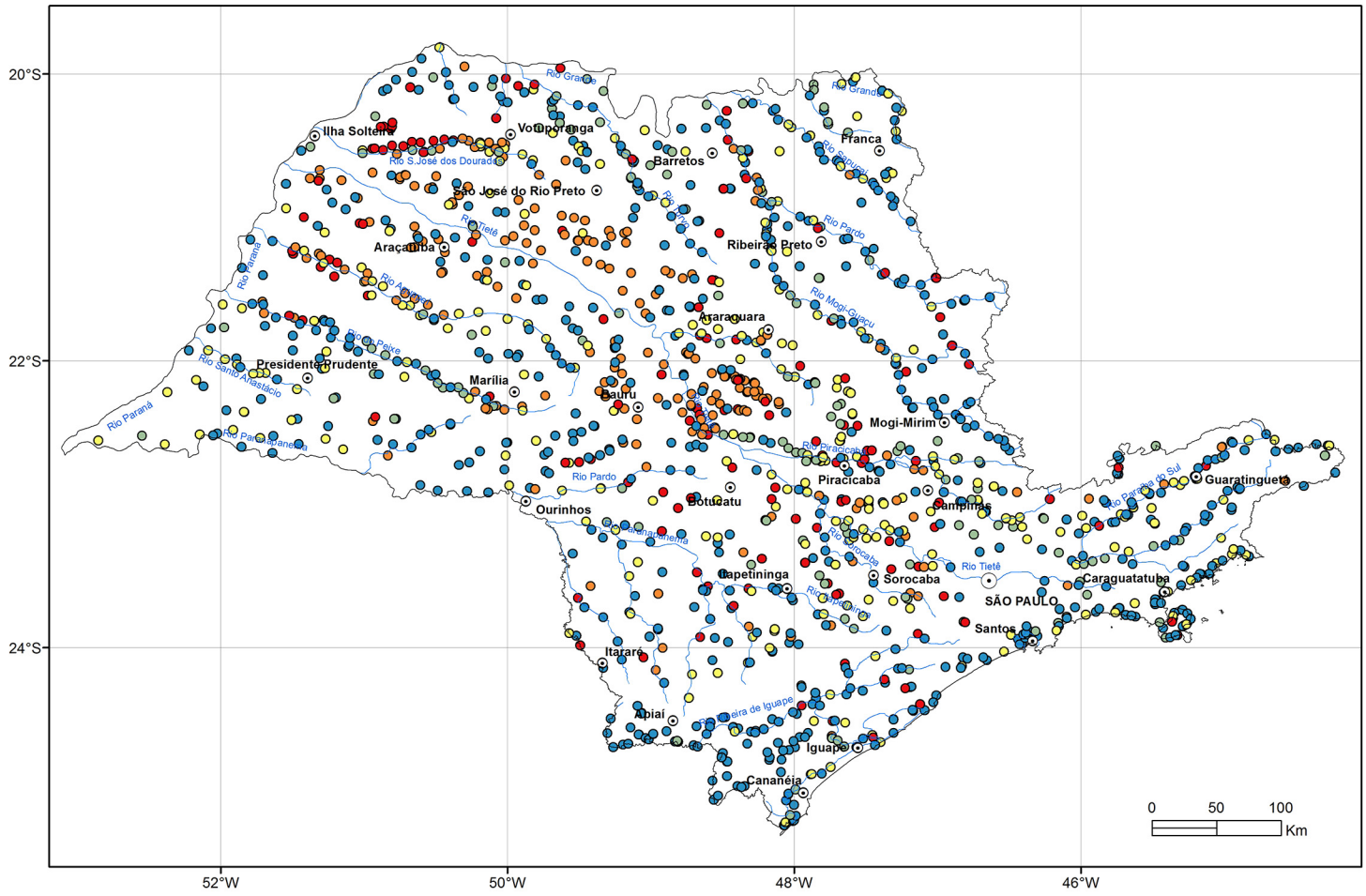


Estatística Descritiva

Elemento	Cu
Limite de Detecção (LD)	0,5 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	11,8
Valor Mínimo	1,0
Valor Máximo	315,3
Média	27,0
Variância	1.630,8
Desvio Padrão	40,4
Coeficiente de Variação	1,5
Referência nacional (CETESB, 2014)	60
Referência internacional (Buchman, 2008)	3,4
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	28

Fluoreto F^-

Águas

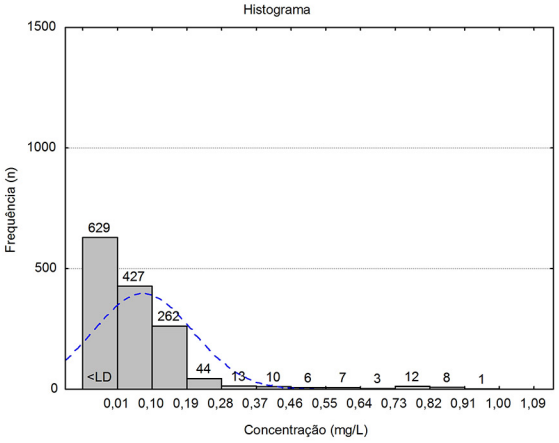


Fluoreto (mg/L)

- **<0,01**
- **0,01 a 0,04**
- **0,05 a 0,10**
- **0,11 a 0,15**
- **0,16 a 0,99**

Legenda

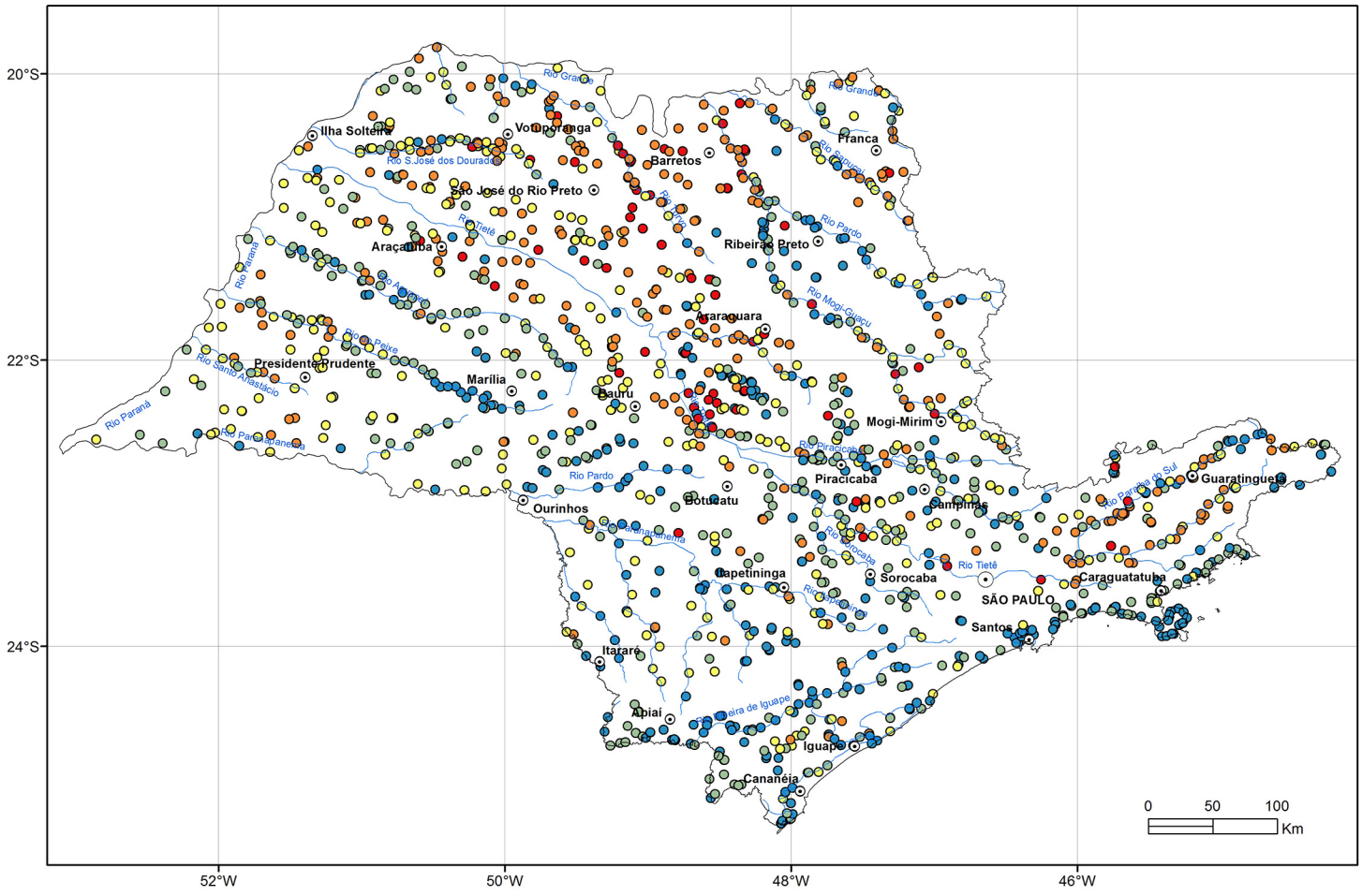
- Cidade
- Rio



Estatística Descritiva

Elemento	F^-
Limite de Detecção (LD)	0,01 (mg/L)
Número de medidas	1422
Resultos > LD	793
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	0,99
Média	0,07
Mediana	0,04
Percentil 75	0,10
Percentil 90	0,15
Percentil 98	0,59
Referência nacional (BRASIL, 2005)	1,4
Referência internacional (CCME, 2002)	0,12
Referência consumo humano (BRASIL, 2011)	1,5

Ferro Fe Águas

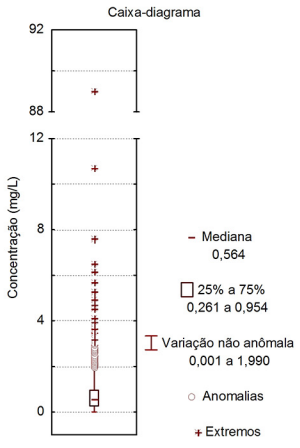


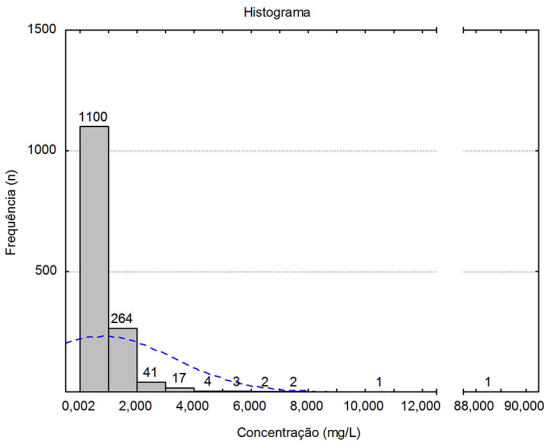
Ferro (mg/L)

- **<0,002 a 0,261**
- **0,262 a 0,564**
- **0,565 a 0,954**
- **0,955 a 1,994**
- **1,995 a 89,000**

Legenda

- Cidade
- Rio

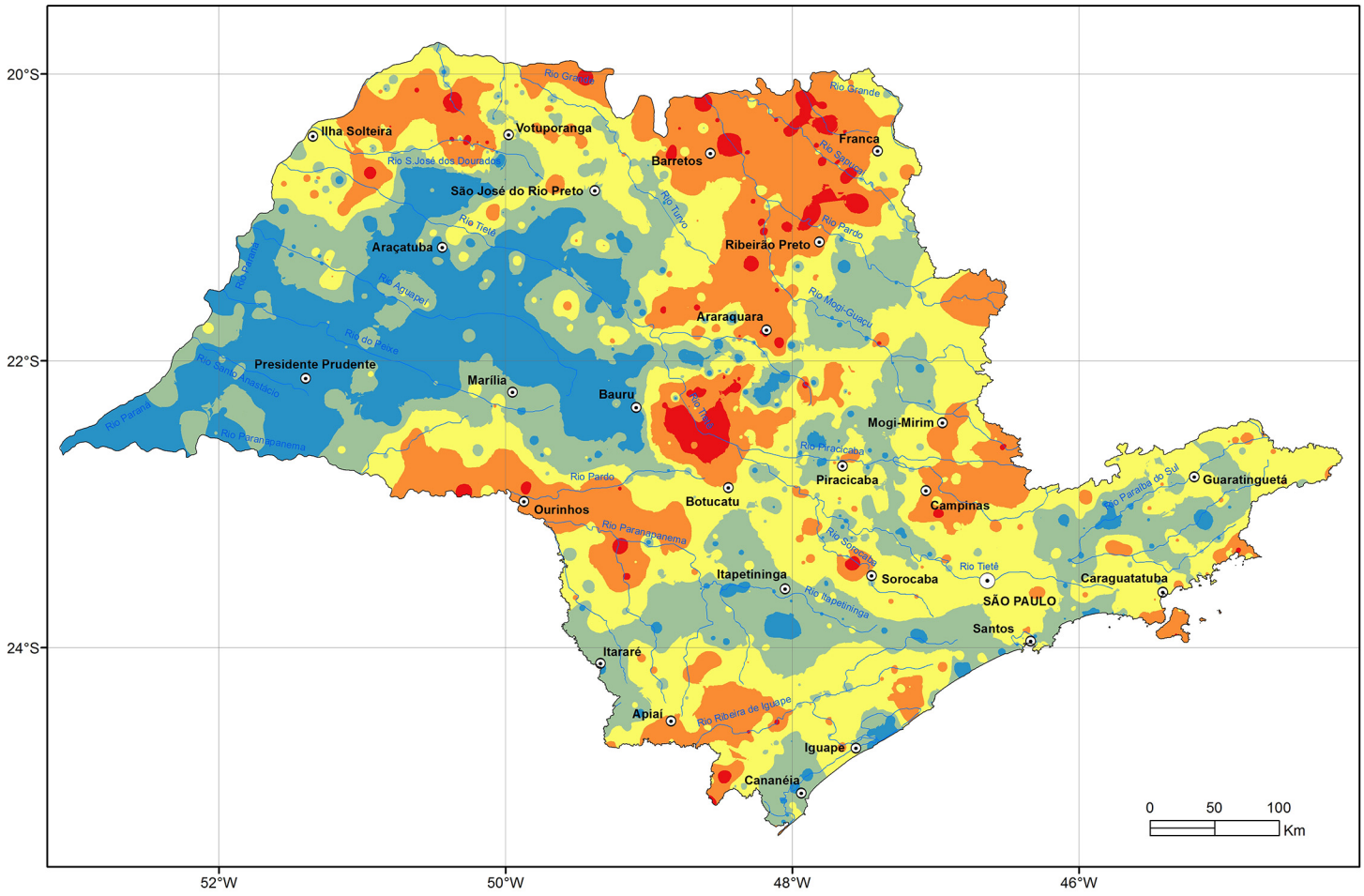




Estatística Descritiva

Elemento	Fe
Limite de Detecção (LD)	0,002 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	1349
Valor Mínimo	<0,002
Valor Máximo	89,000
Mediana	0,564
Média	0,800
Variância	6,075
Desvio Padrão	2,465
Coeficiente de Variação	3,1
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,3
Referência internacional (Buchman, 2008)	1
Referência consumo humano (BRASIL, 2011)	0,3

Ferro Fe Sedimentos

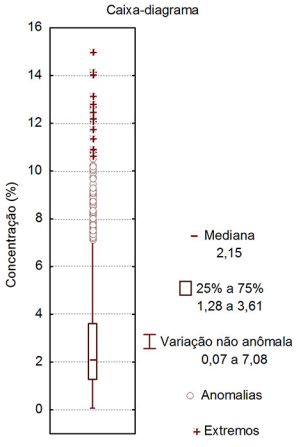


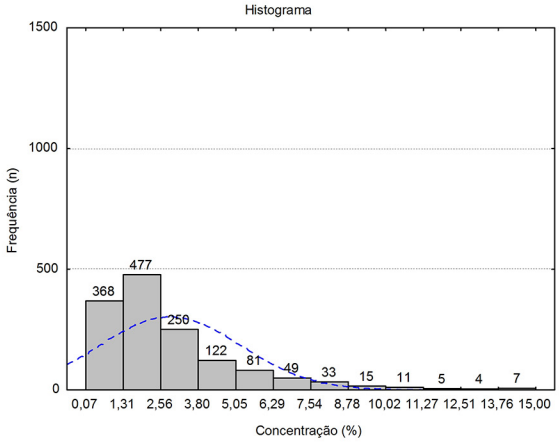
Legenda

- Cidade
- Rio

Ferro (%)

- 0,07 a 1,28
- 1,29 a 2,15
- 2,16 a 3,61
- 3,62 a 7,11
- 7,12 a >15,00

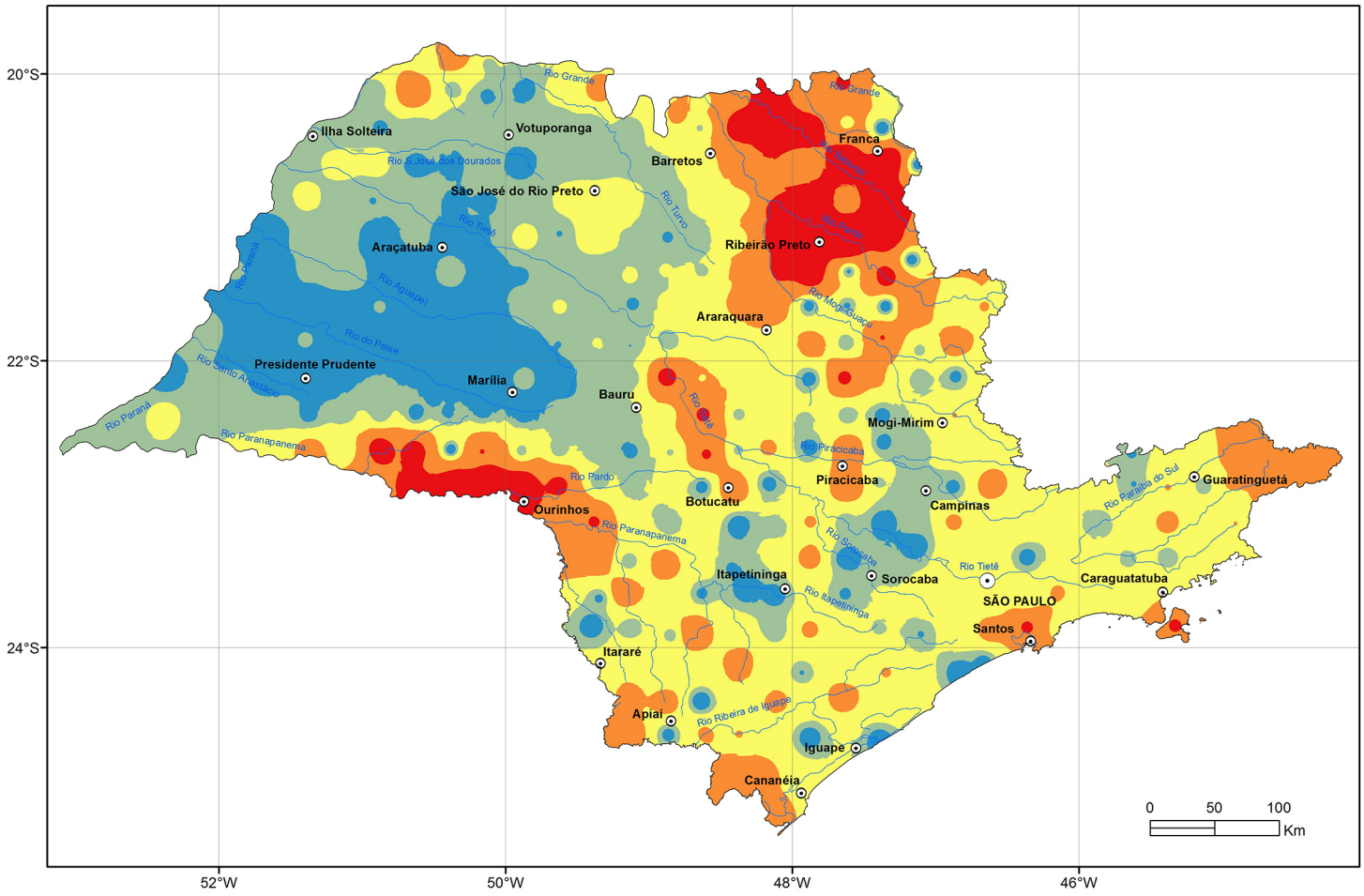




Estatística Descritiva

Elemento	Fe
Limite de detecção (LD)	0,01 (%)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1422
Valor mínimo	0,07
Valor máximo	>15,00
Média	2,84
Mediana	2,15
Variância	5,46
Desvio padrão	2,34
Coeficiente de variação	0,8
Referência nacional	-
Referência internacional (Buchman, 2008)	2,00
Referência crosta superior (Wedepohl, 1995)	3,09

Ferro Fe Solos

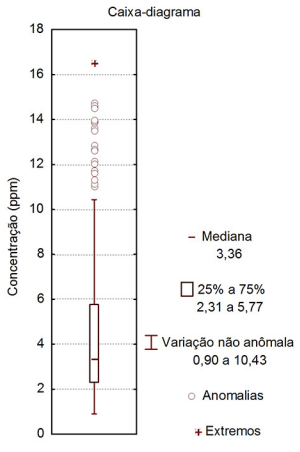


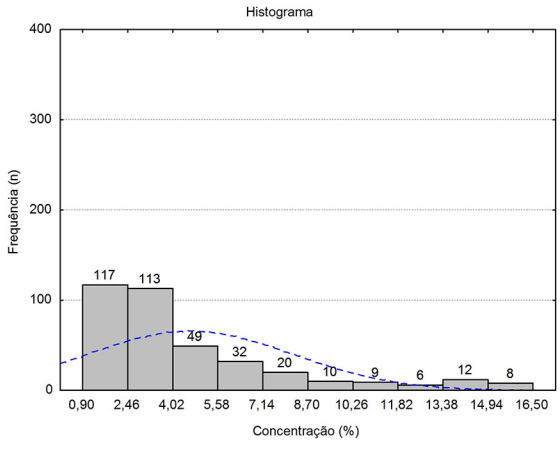
Ferro (%)

- 0,90 a 2,31
- 2,32 a 3,36
- 3,37 a 5,77
- 5,78 a 10,96
- 10,97 a 16,50

Legenda

- Cidade
- Rio

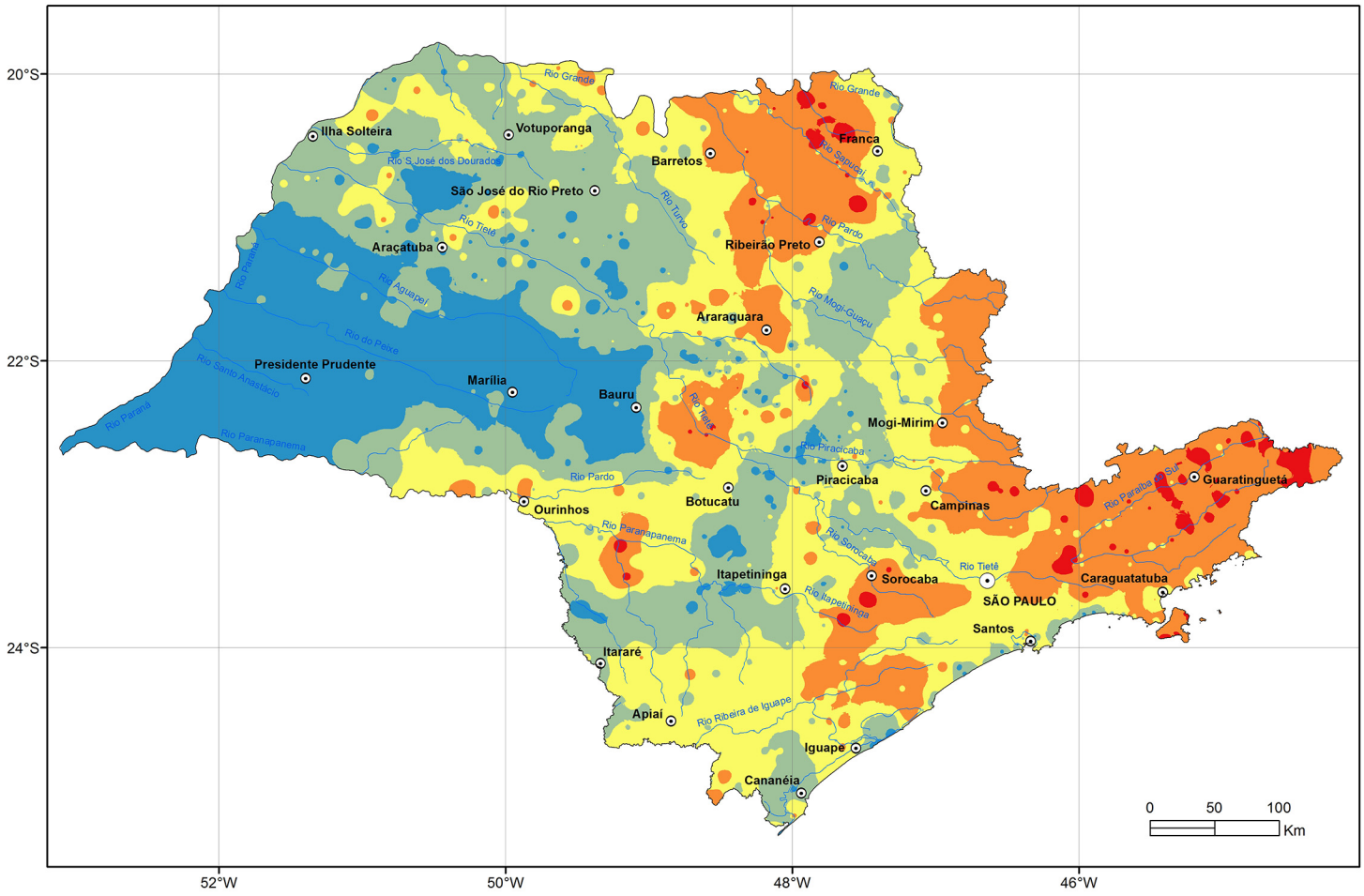




Estatística Descritiva

Elemento	Fe
Limite de Detecção (LD)	0,01 (%)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	3,36
Valor Mínimo	0,90
Valor Máximo	16,50
Média	4,59
Variância	12,70
Desvio Padrão	3,56
Coeficiente de Variação	0,8
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Wedepohl, 1995)	3,09

Gálio Ga Sedimentos

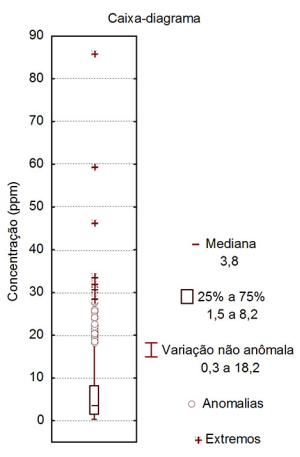


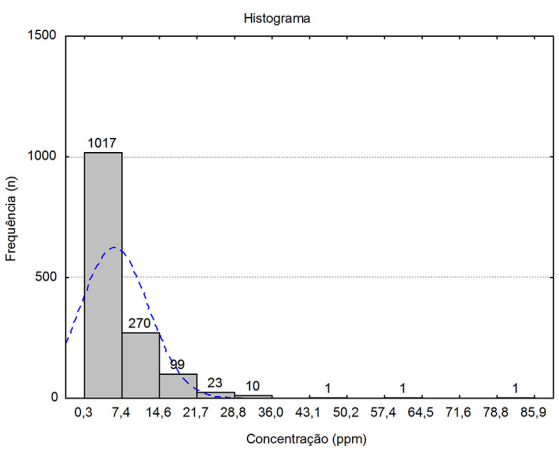
Gálio (ppm)

- 0,3 a 1,5
- 1,6 a 3,8
- 3,9 a 8,2
- 8,3 a 18,2
- 18,3 a 85,9

Legenda

- Cidade
- Rio

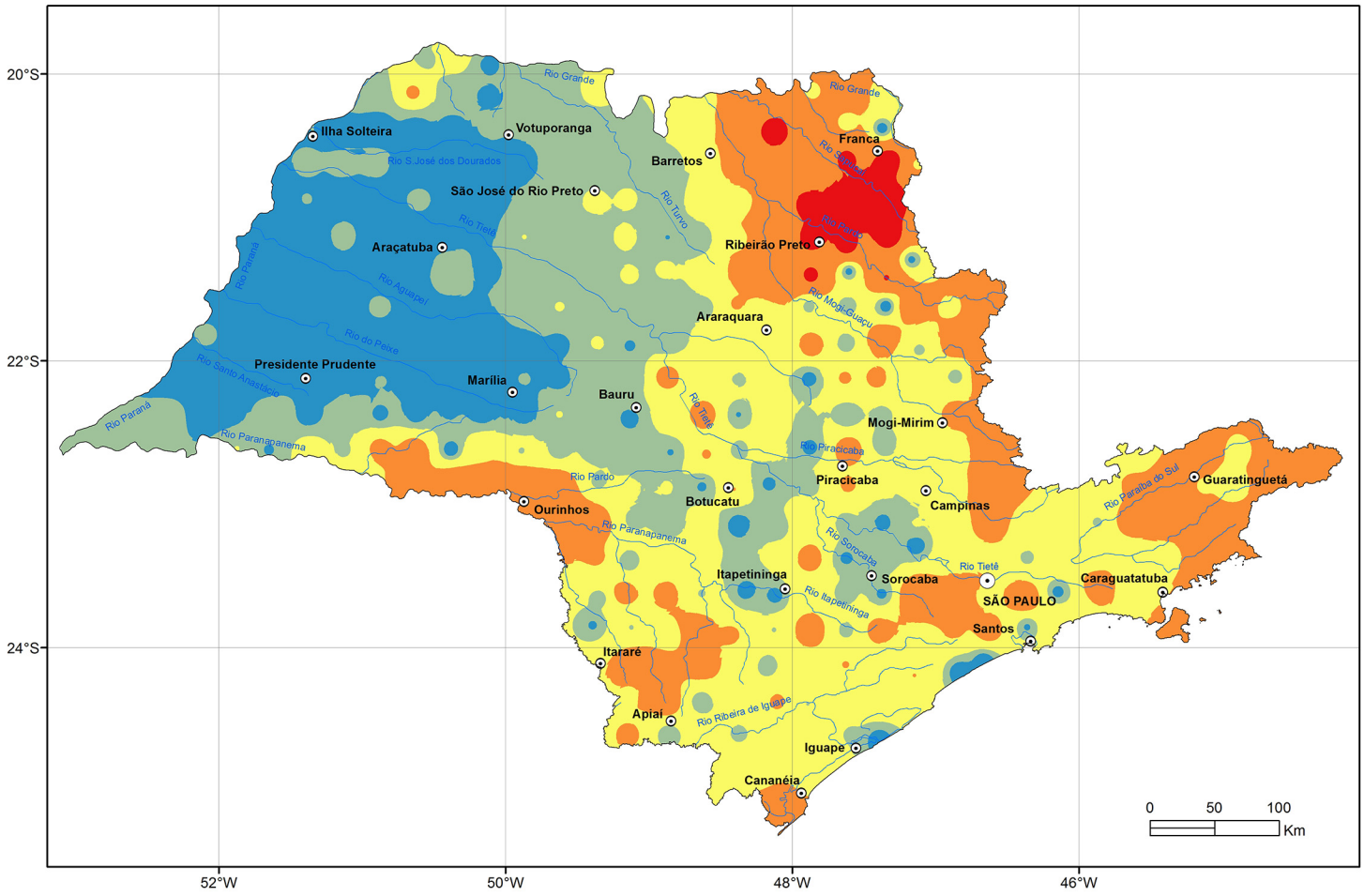




Estatística Descritiva

Elemento	Ga
Limite de detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1422
Valor mínimo	0,3
Valor máximo	85,9
Média	6,0
Mediana	3,8
Variância	42,0
Desvio padrão	6,5
Coeficiente de variação	1,1
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	17,5

Gálio Ga Solos



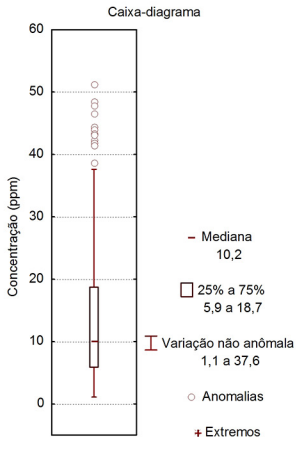
Legenda

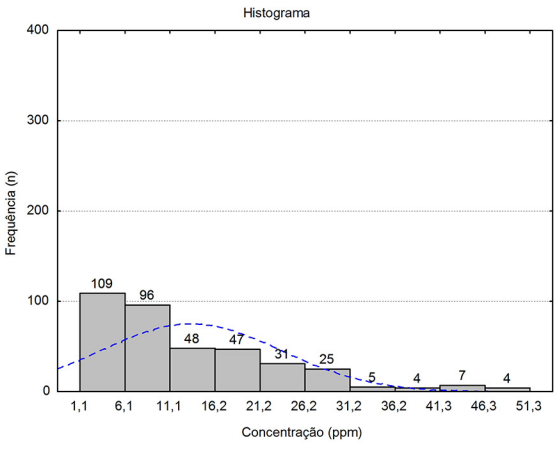
Cidade

Rio

Gálio (ppm)

- 1,1 a 5,9
- 6,0 a 10,2
- 10,3 a 18,7
- 18,8 a 37,9
- 38,0 a 51,3

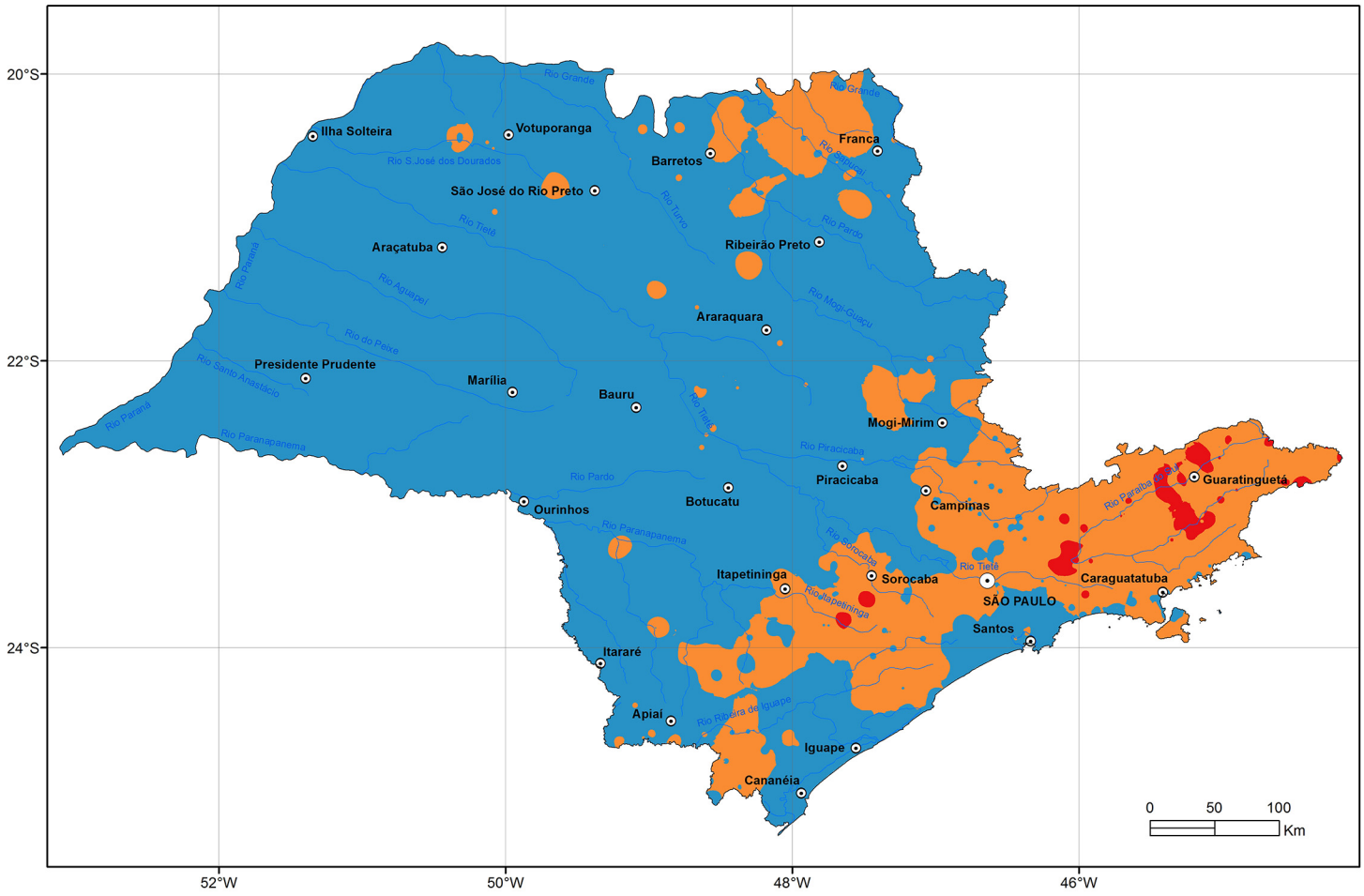




Estatística Descritiva

Elemento	Ga
Limite de Detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	10,2
Valor Mínimo	1,1
Valor Máximo	51,3
Média	13,4
Variância	100,7
Desvio Padrão	10,0
Coeficiente de Variação	0,7
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	17,5

Germânio Ge Sedimentos



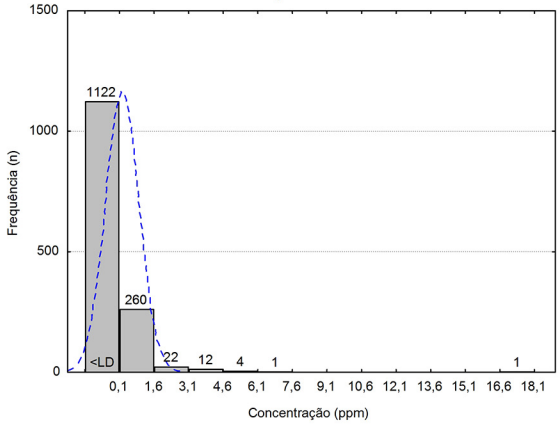
Legenda

- Cidade
- Rio

Germânio (ppm)

- <0,1
- 0,1 a 2,1
- 2,2 a 17,5

Histograma

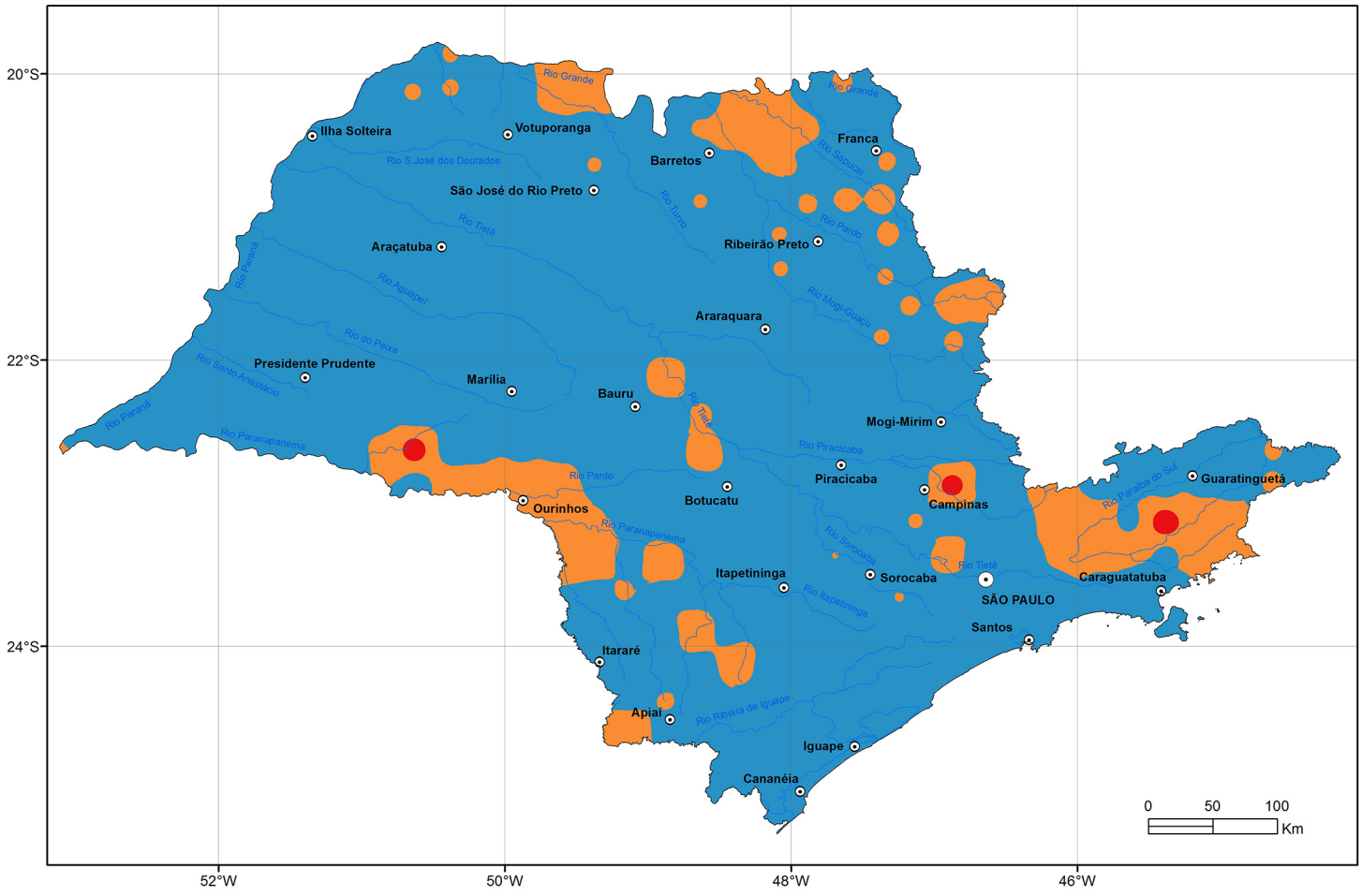


Estatística Descritiva

Elemento	Ge
Limite de detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	300
Valor mínimo	<0,1
Valor máximo	17,5
Média	0,2
Mediana	<0,1
Percentil 75	<0,1
Percentil 90	0,3
Percentil 98	2,1
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	1,4

Germânio Ge

Solos



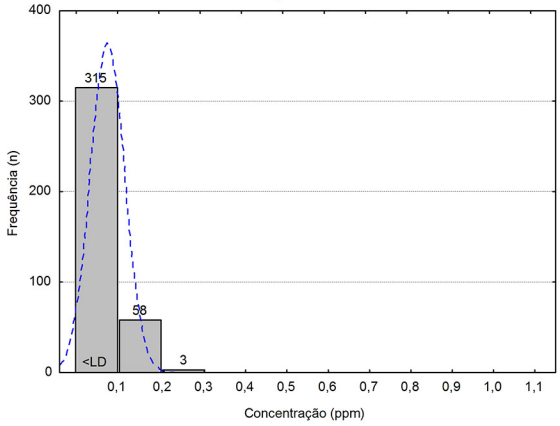
Legenda

- Cidade
- Rio

Germânio (ppm)

- <0,1
- 0,1 a 0,2
- 0,3

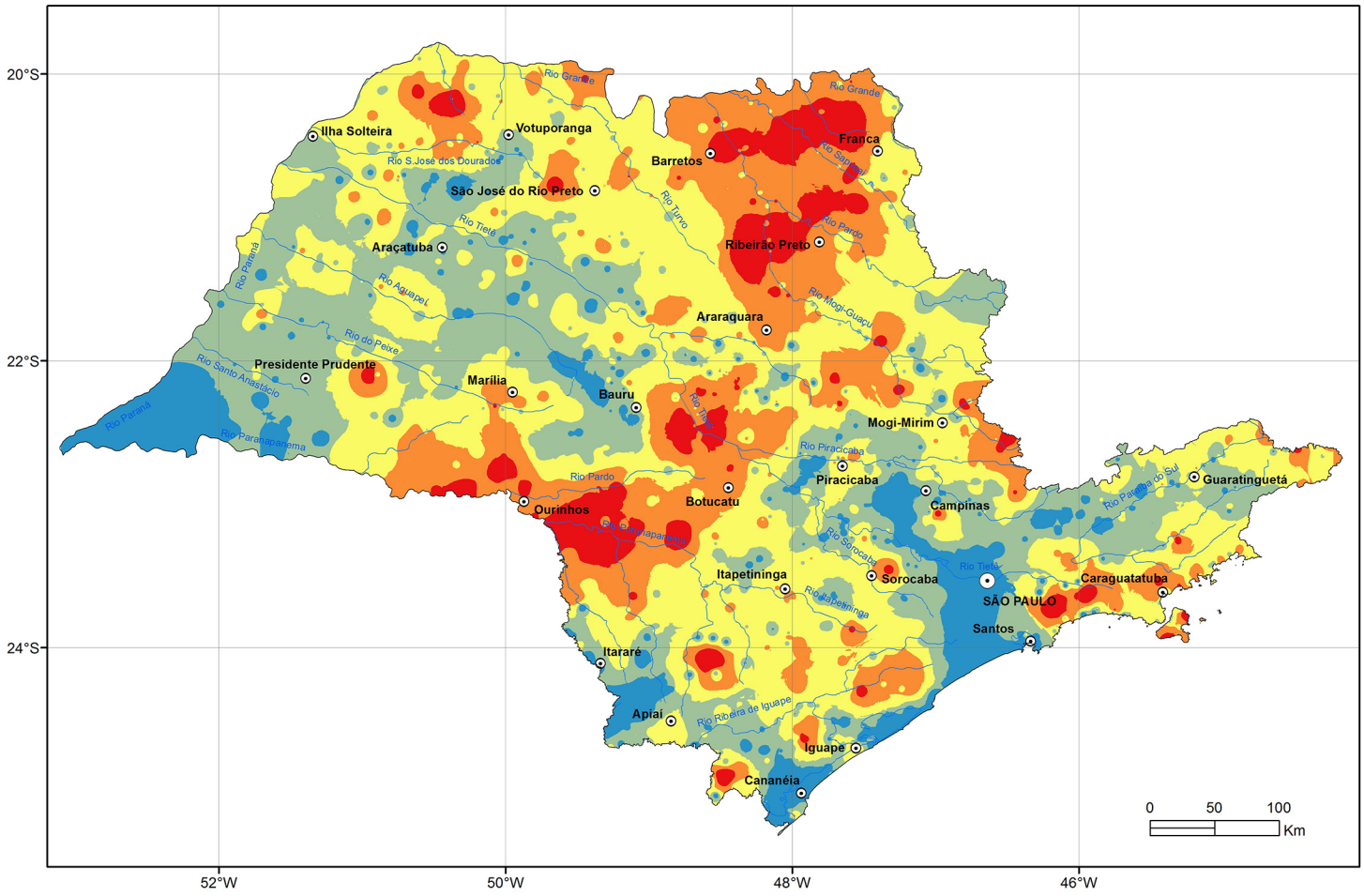
Histograma



Estatística Descritiva

Elemento	Ge
Limite de Detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	61
Valor Mínimo	<0,1
Valor Máximo	0,3
Média	<0,1
Mediana	<0,1
Percentil 75	<0,1
Percentil 90	0,1
Percentil 98	0,2
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao,2003)	1,4

Háfnio Hf Sedimentos

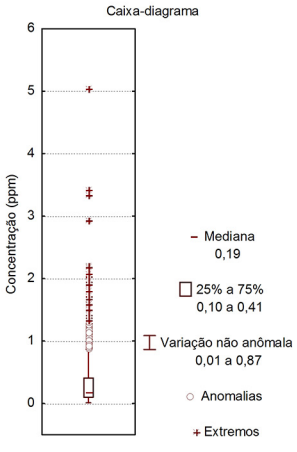


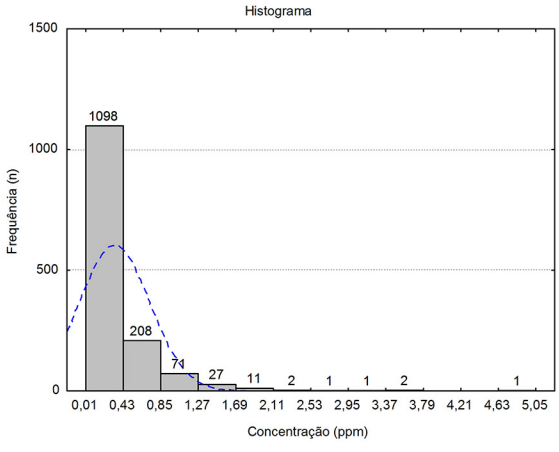
Háfnio (ppm)

- <0,05 a 0,10
- 0,11 a 0,19
- 0,19 a 0,41
- 0,41 a 0,87
- 0,88 a 5,05

Legenda

- Cidade
- Rio

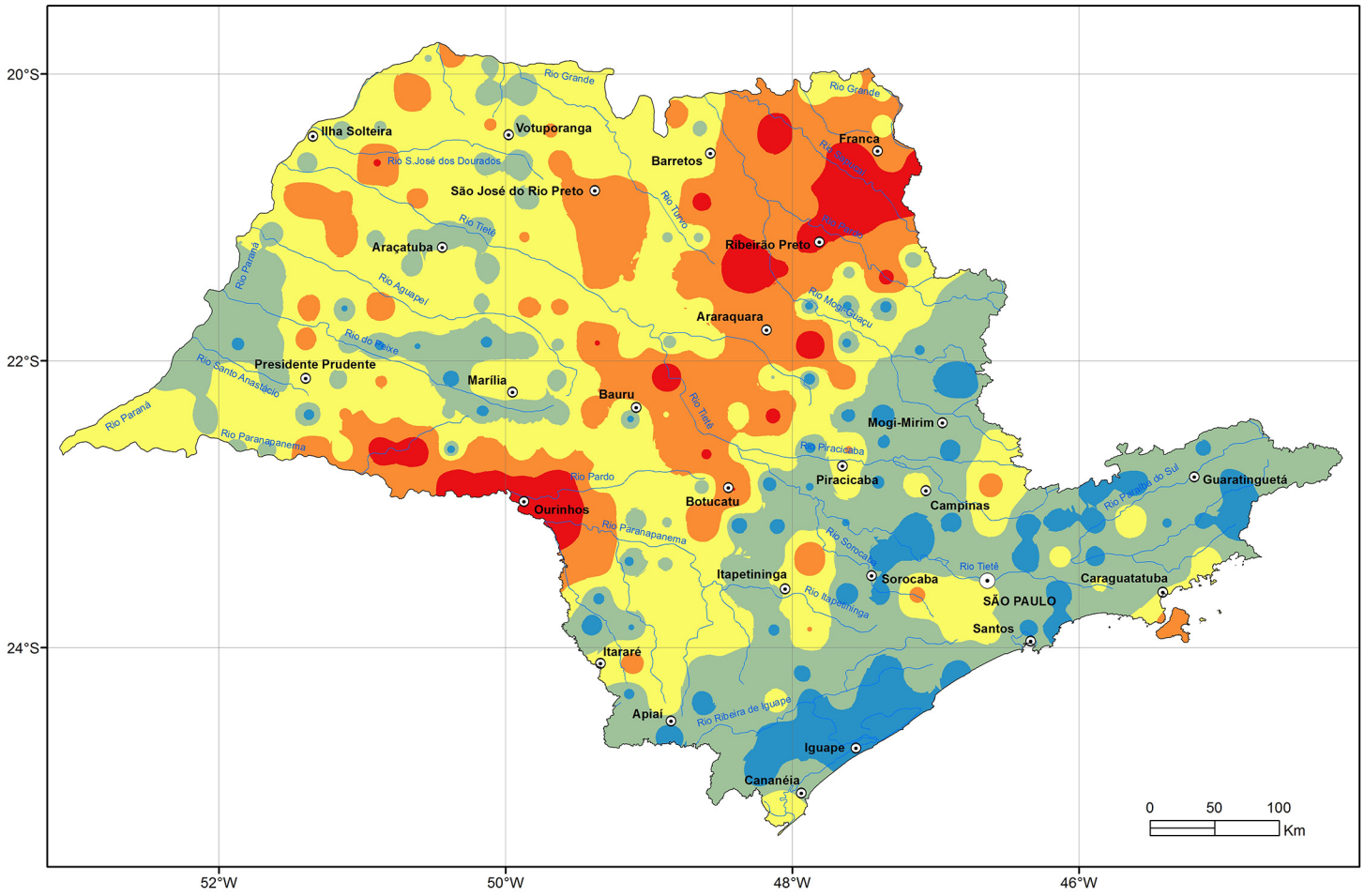




Estatística Descritiva

Elemento	Hf
Limite de detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1337
Valor mínimo	<0,05
Valor máximo	5,05
Média	0,33
Mediana	0,19
Variância	0,16
Desvio padrão	0,40
Coeficiente de variação	1,2
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	5,3

Háfnio Hf Solos



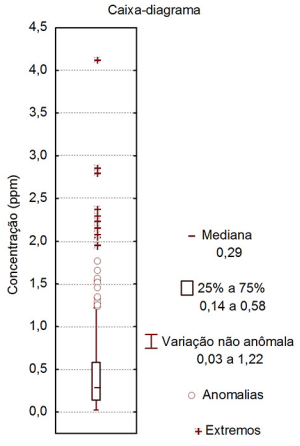
Legenda

- Cidade
- Rio

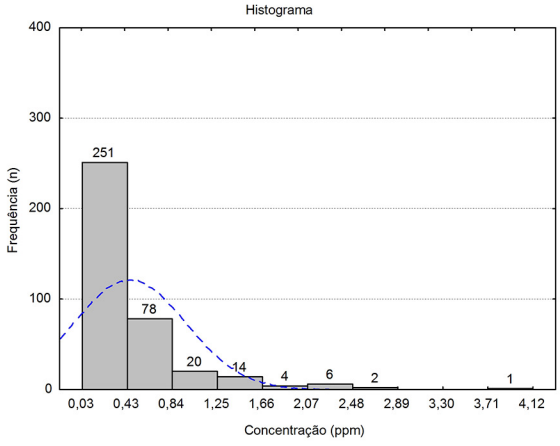
Háfnio (ppm)

- <0,05 a 0,24
- 0,25 a 0,29
- 0,30 a 0,58
- 0,59 a 1,24
- 1,25 a 4,12

Caixa-diagrama



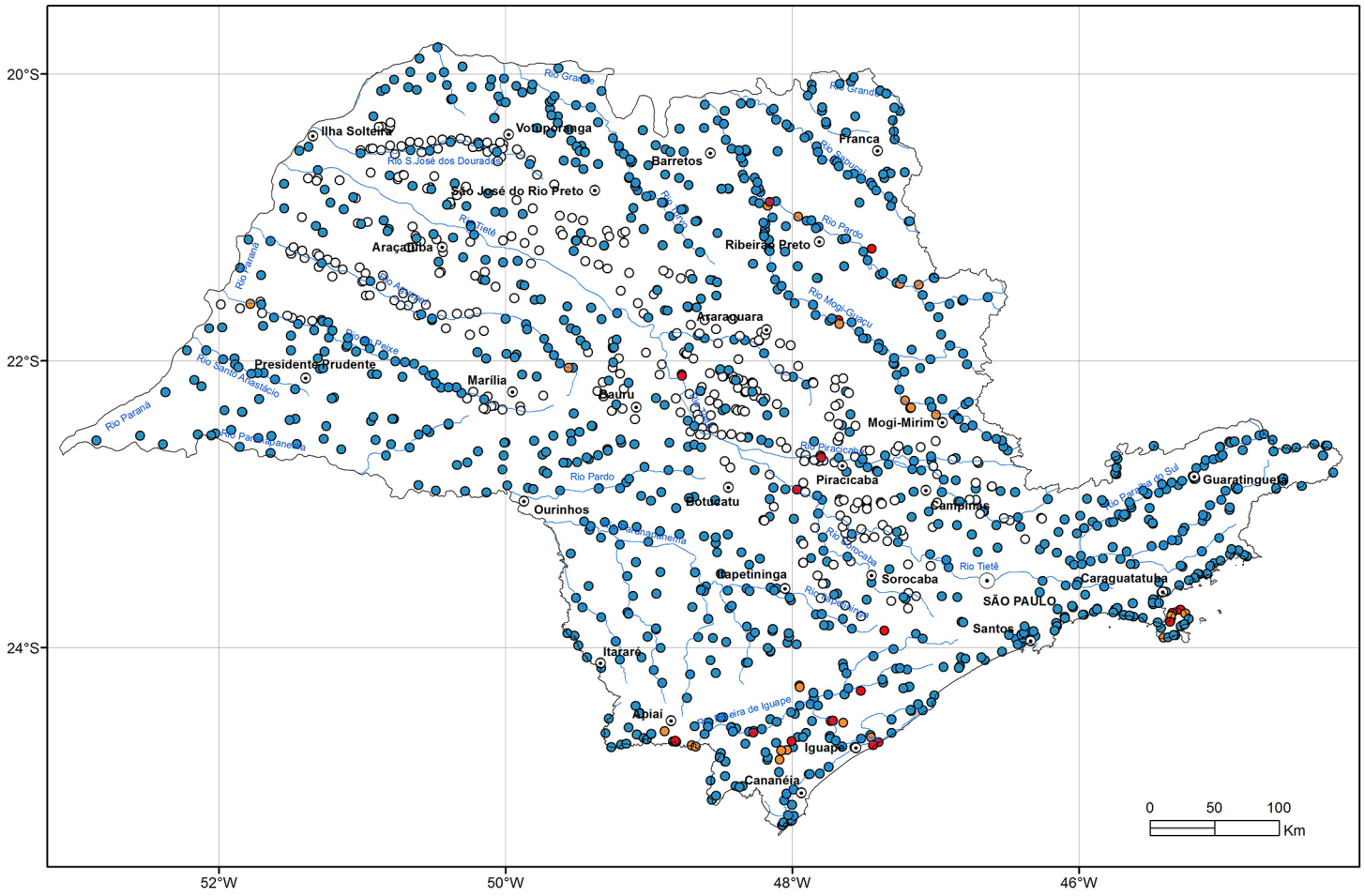
Histograma



Estatística Descritiva

Elemento	Hf
Limite de Detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	360
Mediana	0,29
Valor Mínimo	<0,05
Valor Máximo	4,12
Média	0,46
Variância	0,26
Desvio Padrão	0,51
Coeficiente de Variação	1,11
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	5,3

Mercúrio Hg Águas

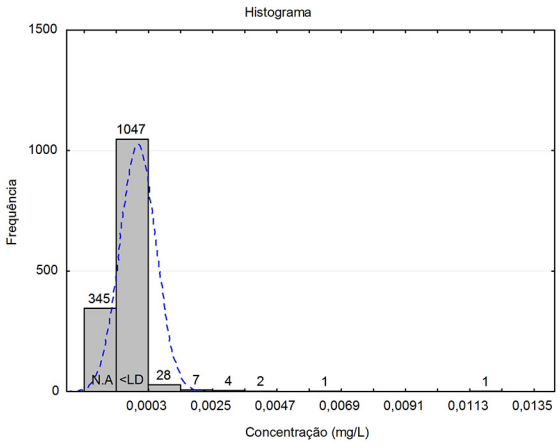


Legenda

- Cidade
- Rio

Mercúrio (mg/L)

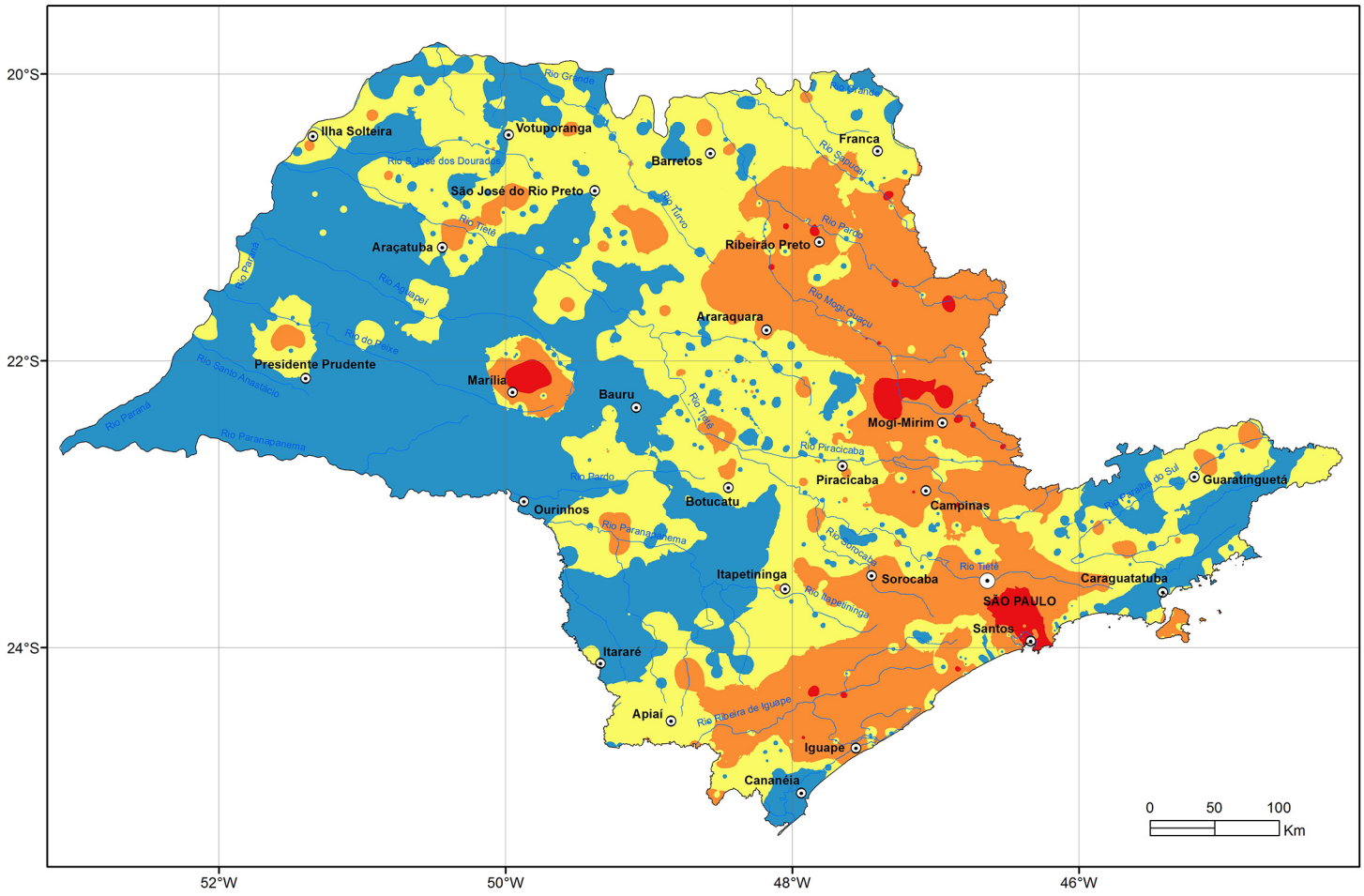
- Não Analisada (N.A)
- <0,0003
- 0,0003 a 0,0009
- 0,0010 a 0,0124



Estatística Descritiva

Elemento	Hg
Limite de Detecção (LD)	0,0003 (mg/L)
Número de medidas	1090
Resultos > LD	43
Valor Mínimo	<0,0003
Valor Máximo	0,0124
Média	<0,0003
Mediana	<0,0003
Percentil 75	<0,0003
Percentil 90	<0,0003
Percentil 98	0,0009
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,0002
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,00077
Referência consumo humano (BRASIL, 2011)	0,001

Mercúrio Hg Sedimentos

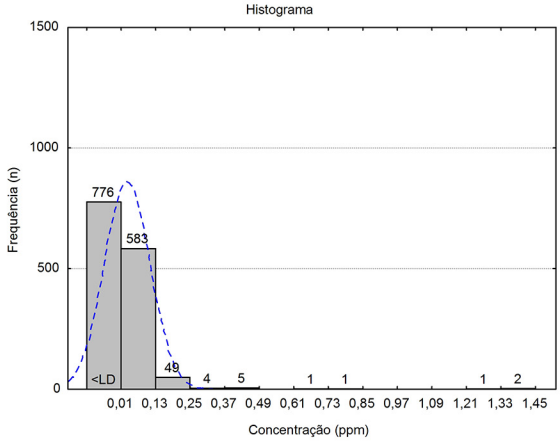


Legenda

- Cidade
- Rio

Mercúrio (ppm)

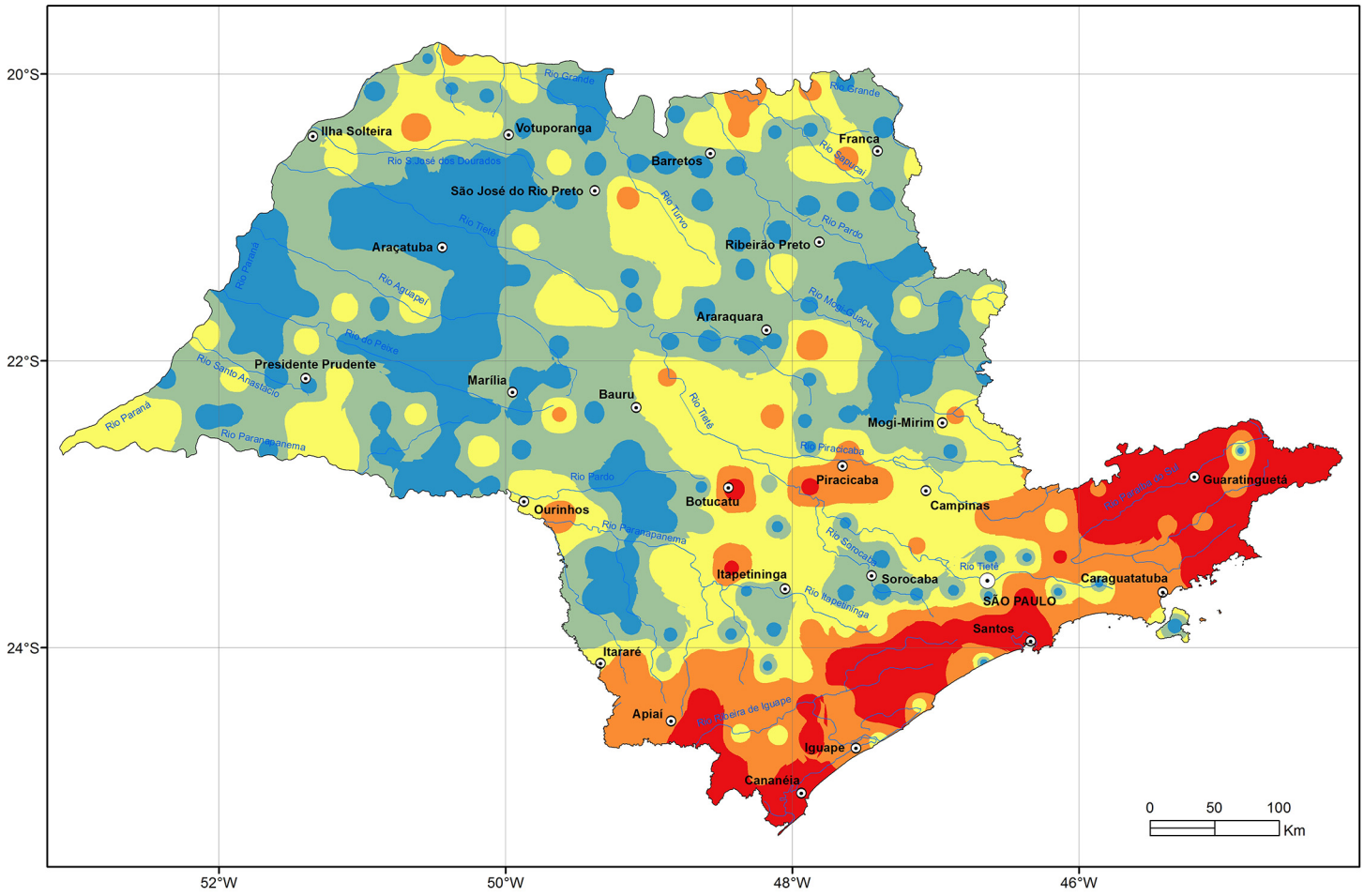
- <0,01
- 0,01 a 0,03
- 0,04 a 0,18
- 0,19 a 1,37



Estatística Descritiva

Elemento	Hg
Limite de detecção (LD)	0,01 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	646
Valor mínimo	<0,01
Valor máximo	1,37
Média	0,03
Mediana	<0,01
Percentil 75	0,03
Percentil 90	0,07
Percentil 98	0,18
Referência nacional (BRASIL, 2012)	0,17
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,17
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	0,05

Mercúrio Hg Solos



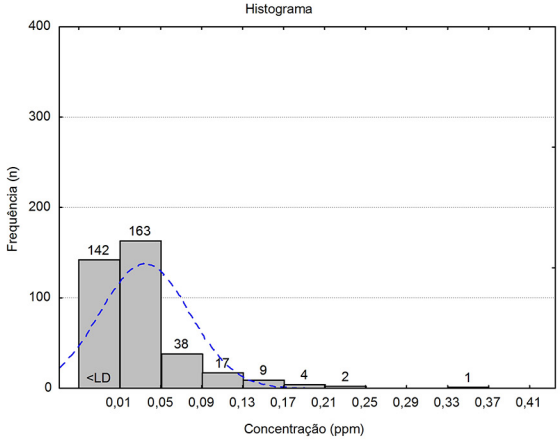
Legenda

- Cidade
- Rio

Mercúrio (ppm)

- <0,01
- 0,01 a 0,02
- 0,03 a 0,04
- 0,05 a 0,08
- 0,09 a 0,37

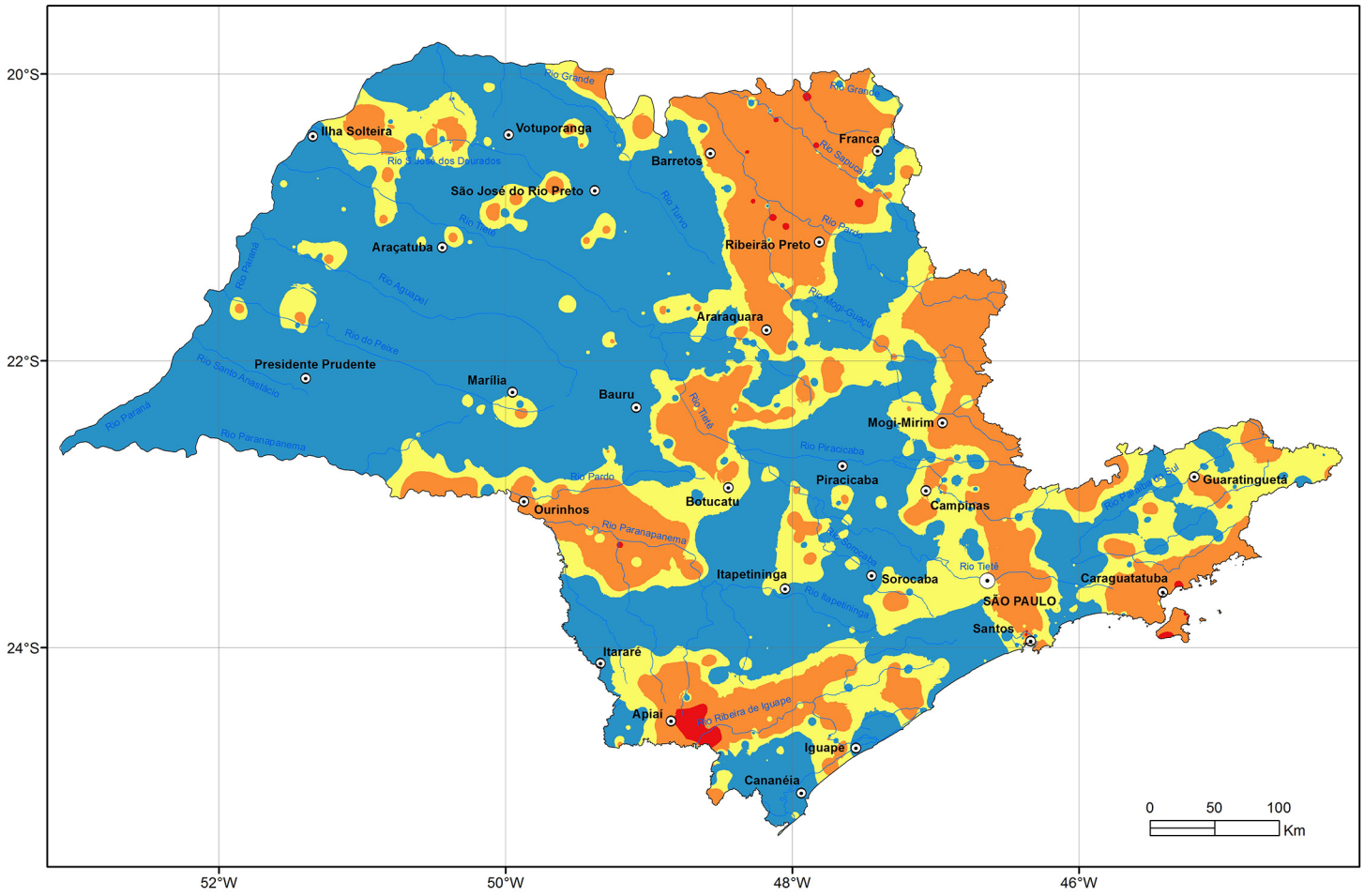
Histograma



Estatística Descritiva

Elemento	Hg
Limite de Detecção (LD)	0,01 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	234
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	0,37
Média	0,03
Mediana	0,02
Percentil 75	0,04
Percentil 90	0,08
Percentil 98	0,17
Referência nacional (CETESB, 2014)	0,5
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,3
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	0,05

Índio In Sedimentos

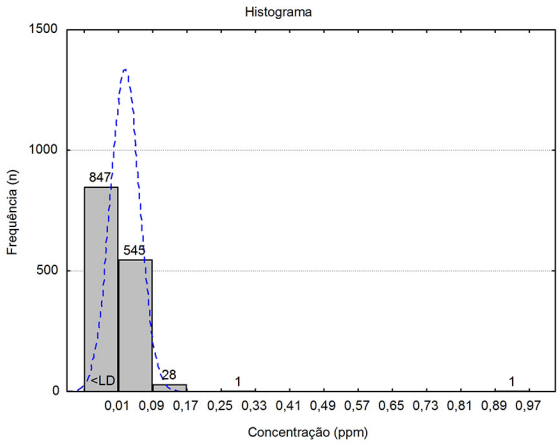


Legenda

- Cidade
- Rio

Índio (ppm)

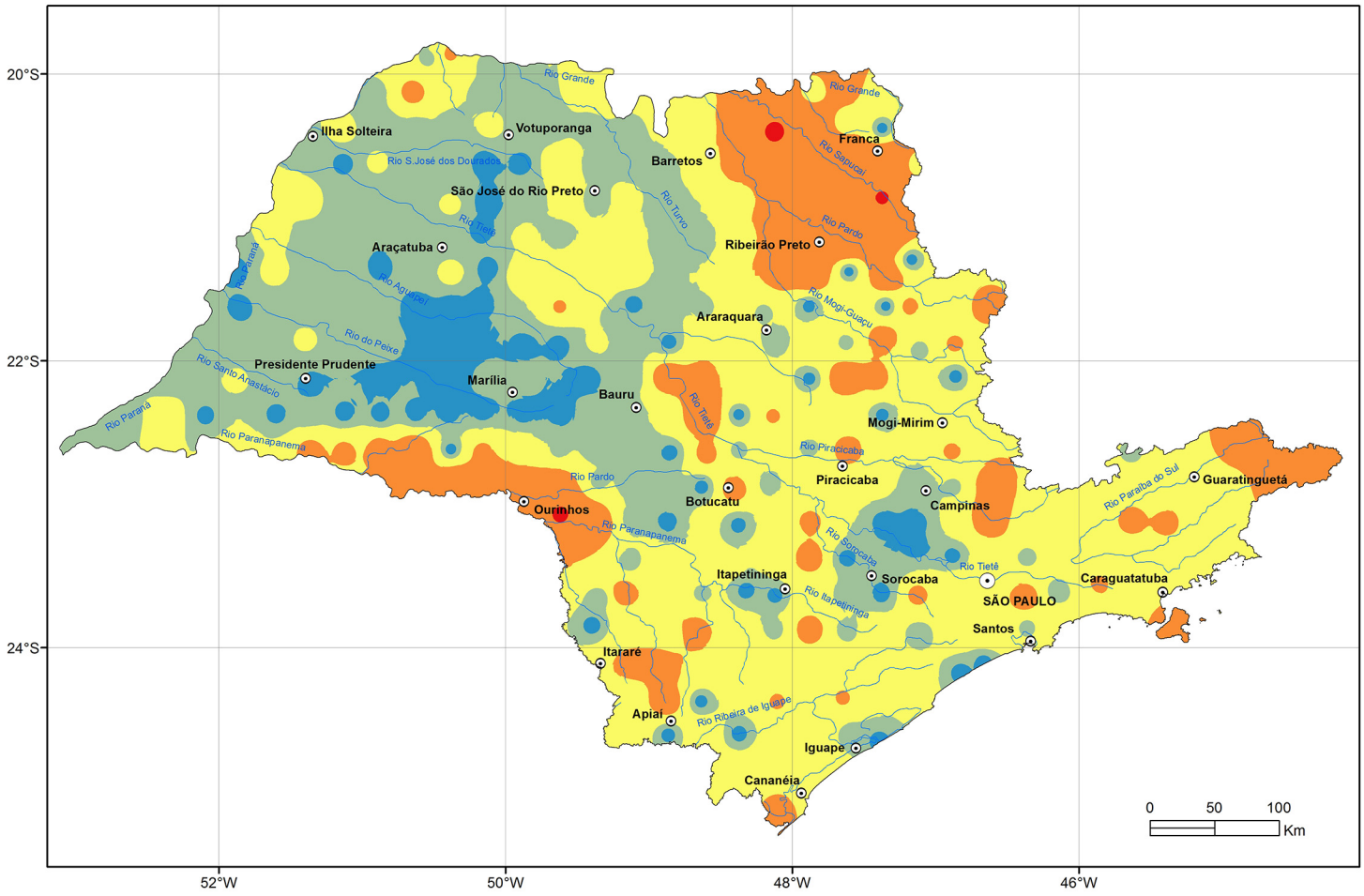
- <0,02
- 0,02 a 0,03
- 0,04 a 0,10
- 0,11 a 0,95



Estatística Descritiva

Elemento	In
Limite de detecção (LD)	0,02 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	575
Valor mínimo	<0,02
Valor máximo	0,95
Média	0,02
Mediana	<0,02
Percentil 75	0,03
Percentil 90	0,05
Percentil 98	0,10
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	0,056

Índio In Solos

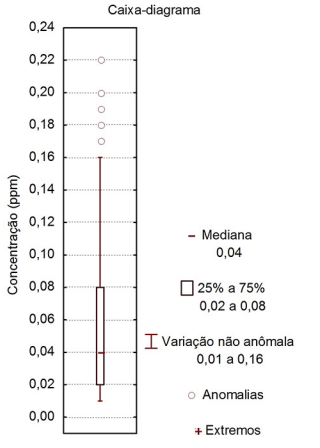


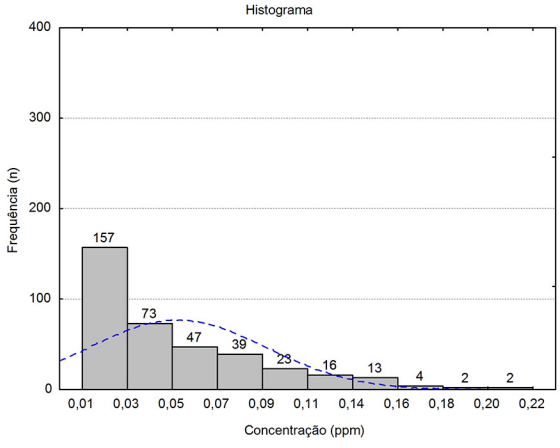
Legenda

- Cidade
- Rio

Índio (ppm)

- <0,02 a 0,02
- 0,03 a 0,04
- 0,05 a 0,08
- 0,09 a 0,17
- 0,18 a 0,20



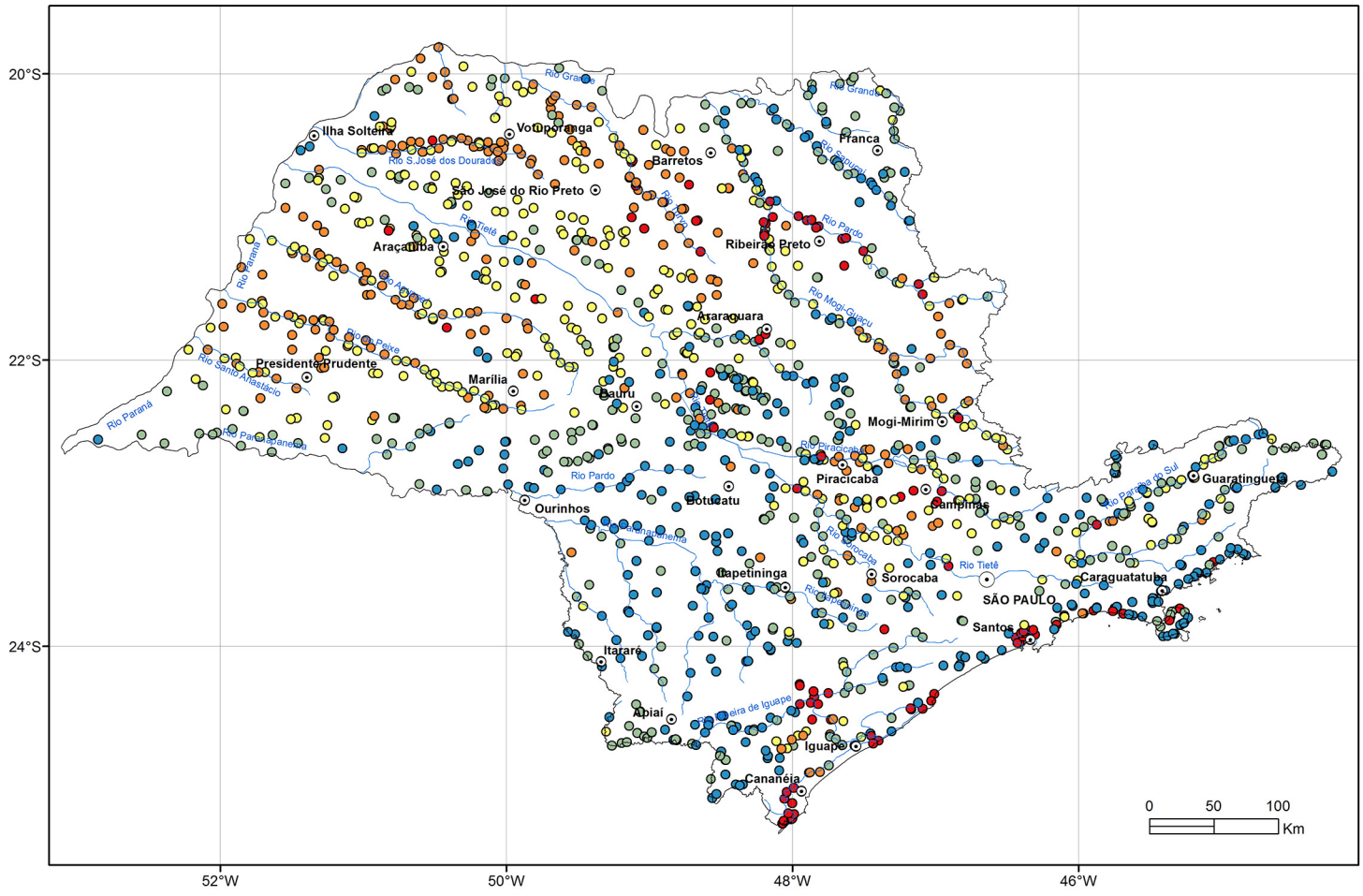


Estatística Descritiva

Elemento	In
Limite de Detecção (LD)	0,02 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	308
Mediana	0,04
Valor Mínimo	<0,02
Valor Máximo	0,22
Média	0,05
Variância	0,002
Desvio Padrão	0,04
Coeficiente de Variação	0,76
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	0,056

Potássio K

Águas

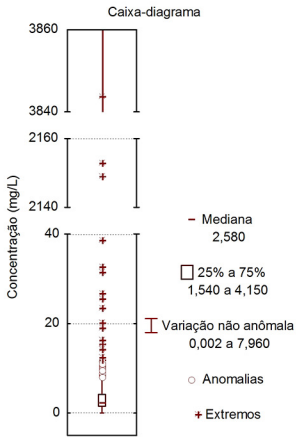


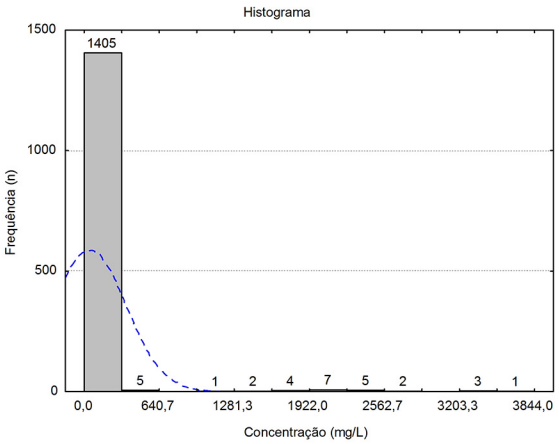
Potássio (mg/L)

- **<0,005 a 1,540**
- **1,541 a 2,580**
- **2,581 a 4,150**
- **4,151 a 8,070**
- **8,071 a 3.844,0**

Legenda

- Cidade
- Rio



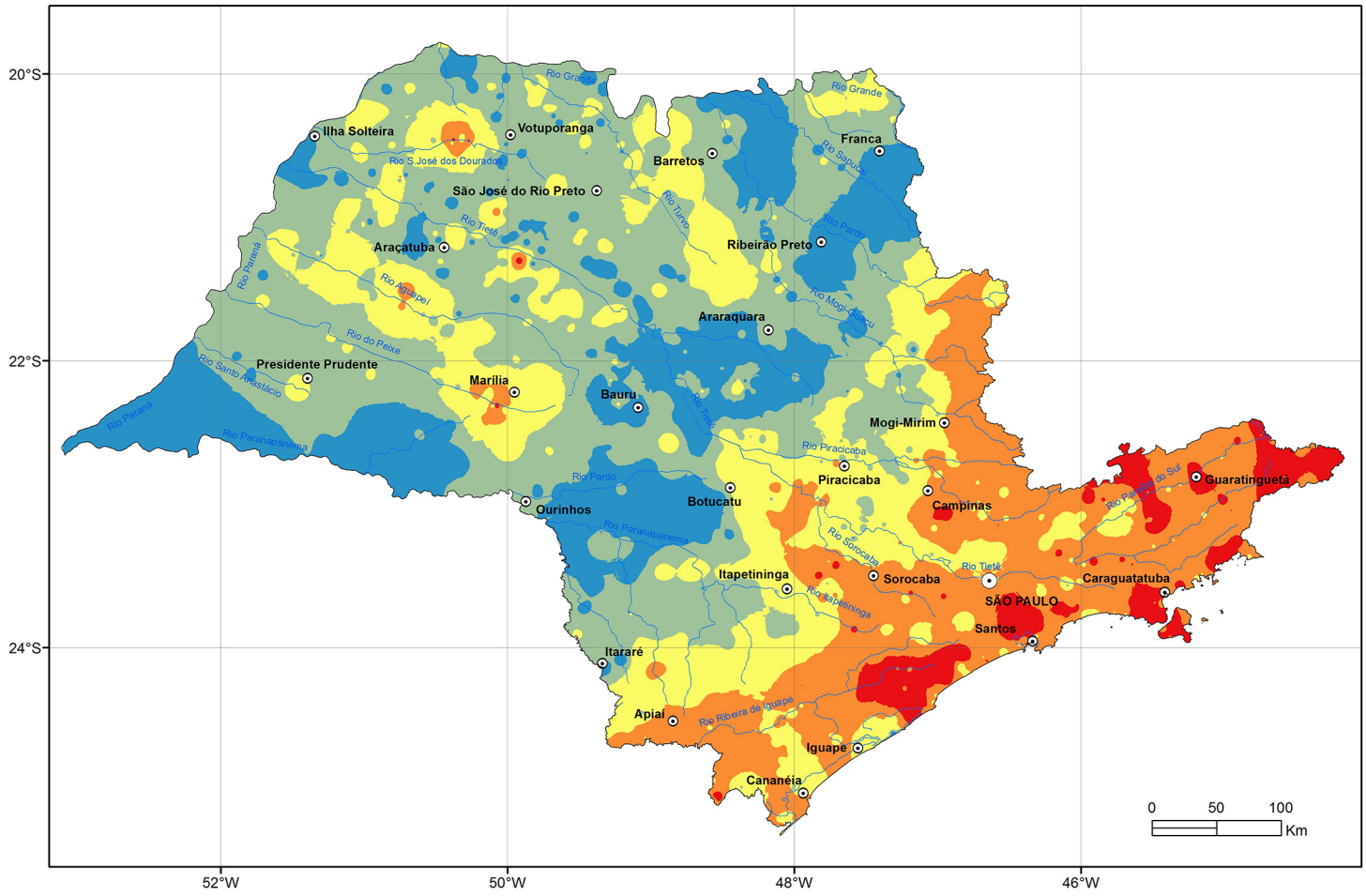


Estatística Descritiva

Elemento	K
Limite de Detecção (LD)	0,005 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	1430
Valor Mínimo	<0,005
Valor Máximo	3.844,000
Mediana	2,580
Média	46,328
Variância	97.481,852
Desvio Padrão	312,221
Coeficiente de Variação	6,7
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência consumo humano	-

Potássio K

Sedimentos

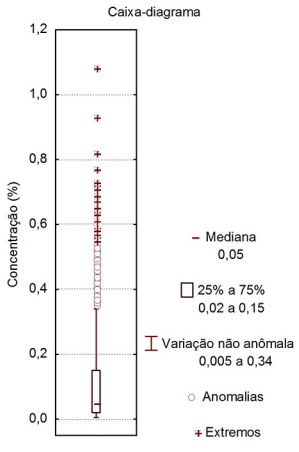


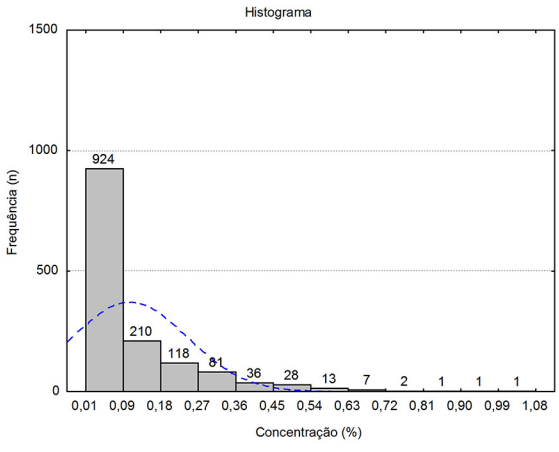
Potássio (%)

- <0,01 a 0,02
- 0,03 a 0,05
- 0,06 a 0,15
- 0,16 a 0,34
- 0,35 a 1,08

Legenda

- Cidade
- Rio



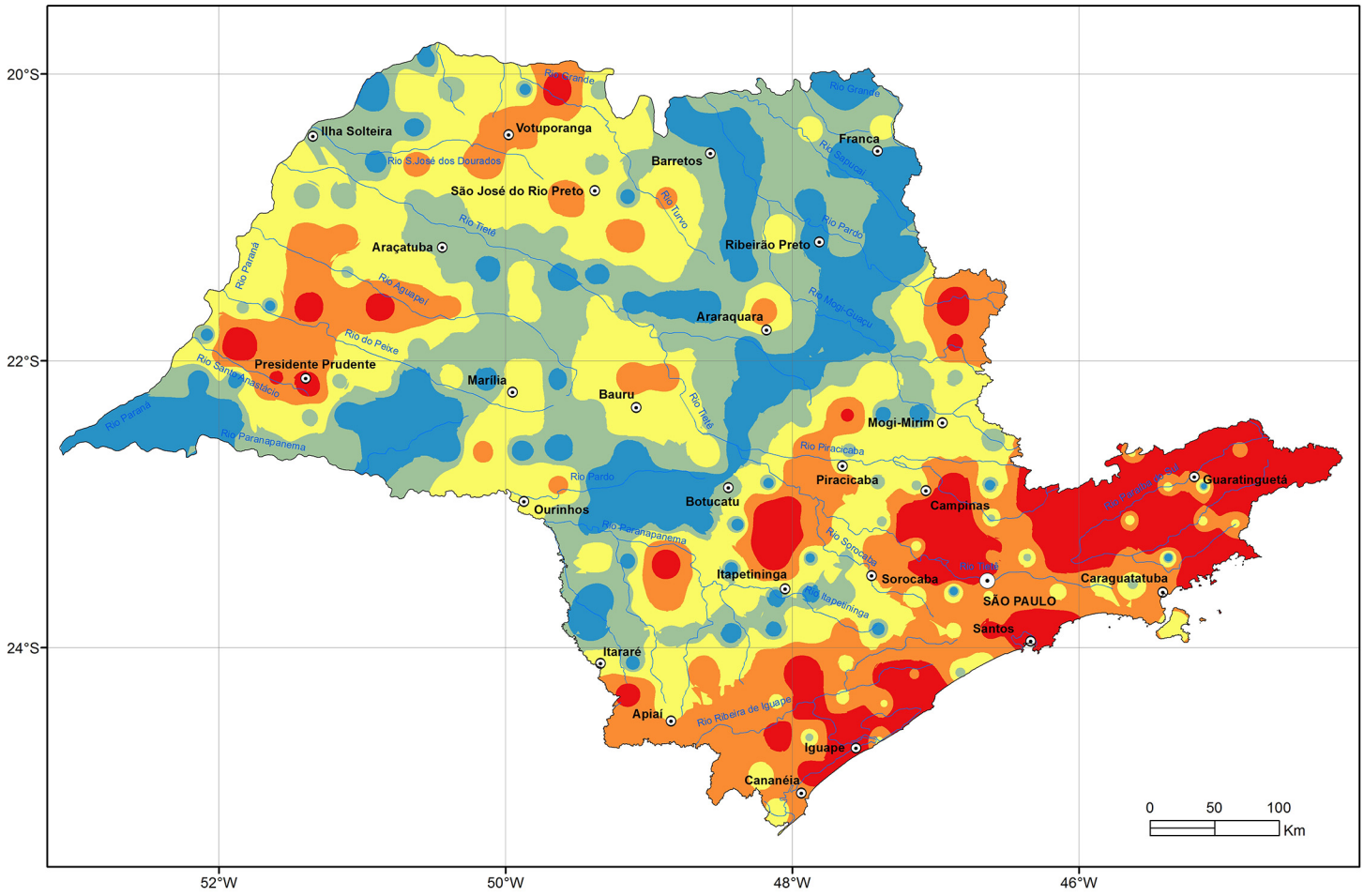


Estatística Descritiva

Elemento	K
Limite de detecção (LD)	0,01 (%)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1267
Valor mínimo	<0,01
Valor máximo	1,08
Média	0,11
Mediana	0,05
Variância	0,02
Desvio padrão	0,14
Coeficiente de variação	1,25
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Wedepohl, 1995)	2,87

Potássio K

Solos

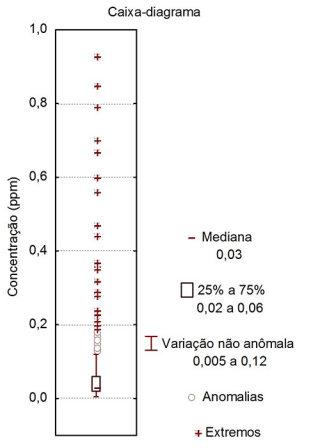


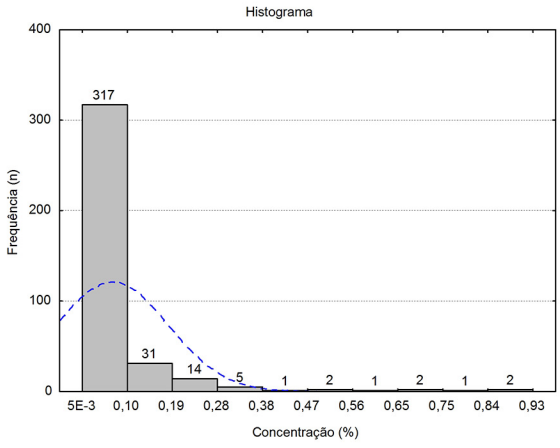
Potássio (%)

- <0,01 a 0,02
- 0,03
- 0,04 a 0,06
- 0,07 a 0,12
- 0,13 a 0,93

Legenda

- Cidade
- Rio



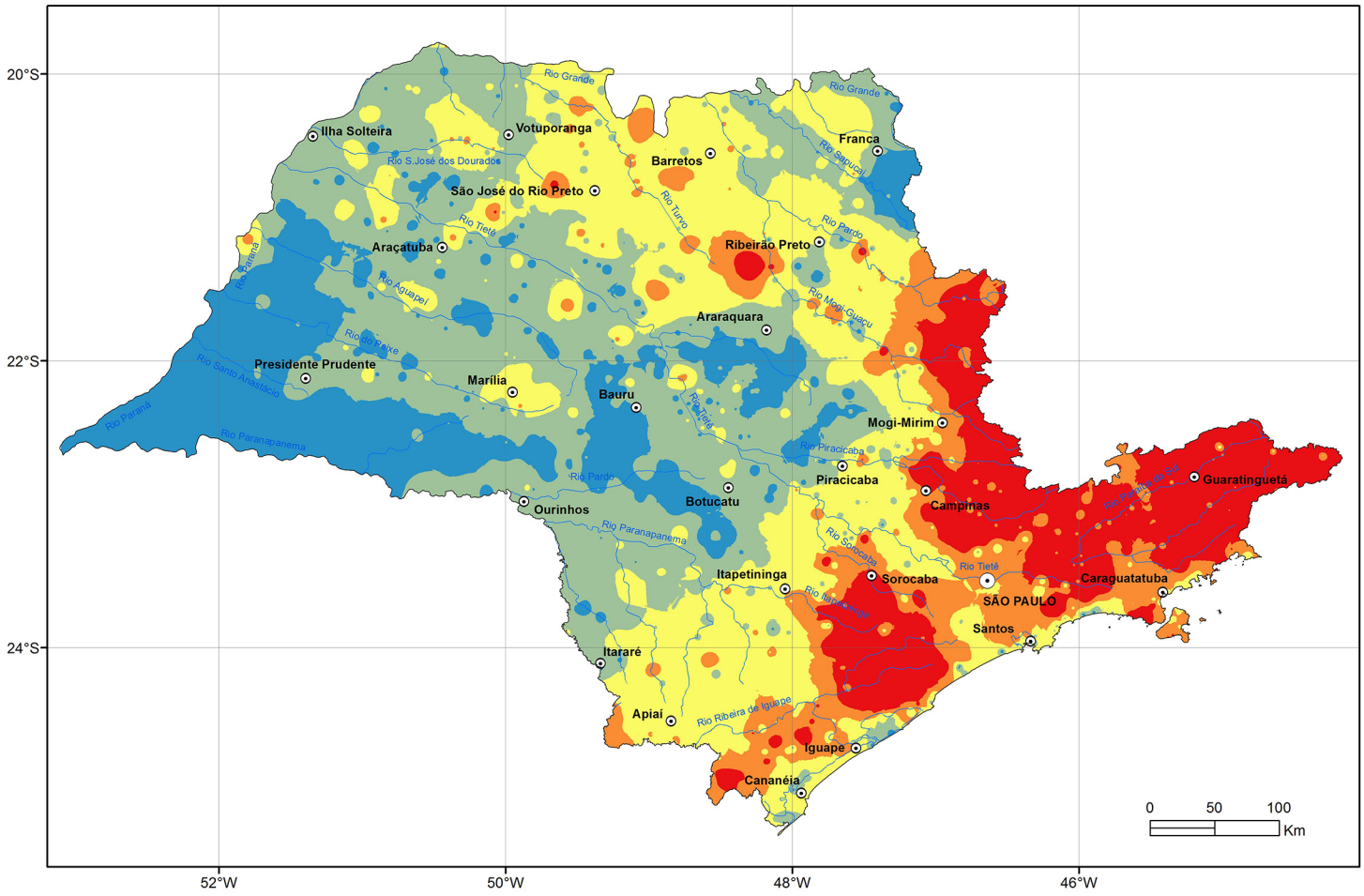


Estatística Descritiva

Elemento	K
Limite de Detecção (LD)	0,01 (%)
Número de medidas	376
Resultos > LD	341
Mediana	0,03
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	0,93
Média	0,07
Variância	0,01
Desvio Padrão	0,11
Coeficiente de Variação	1,7
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Wedepohl, 1995)	2,87

Lantânio La

Sedimentos

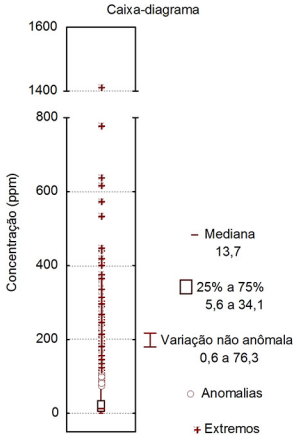


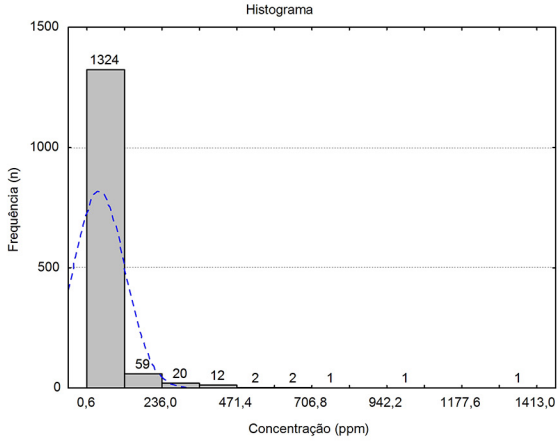
Lantânio (ppm)

- 0,6 a 5,6
- 5,7 a 13,7
- 13,8 a 34,1
- 34,2 a 76,8
- 76,9 a 1.413

Legenda

- Cidade
- Rio



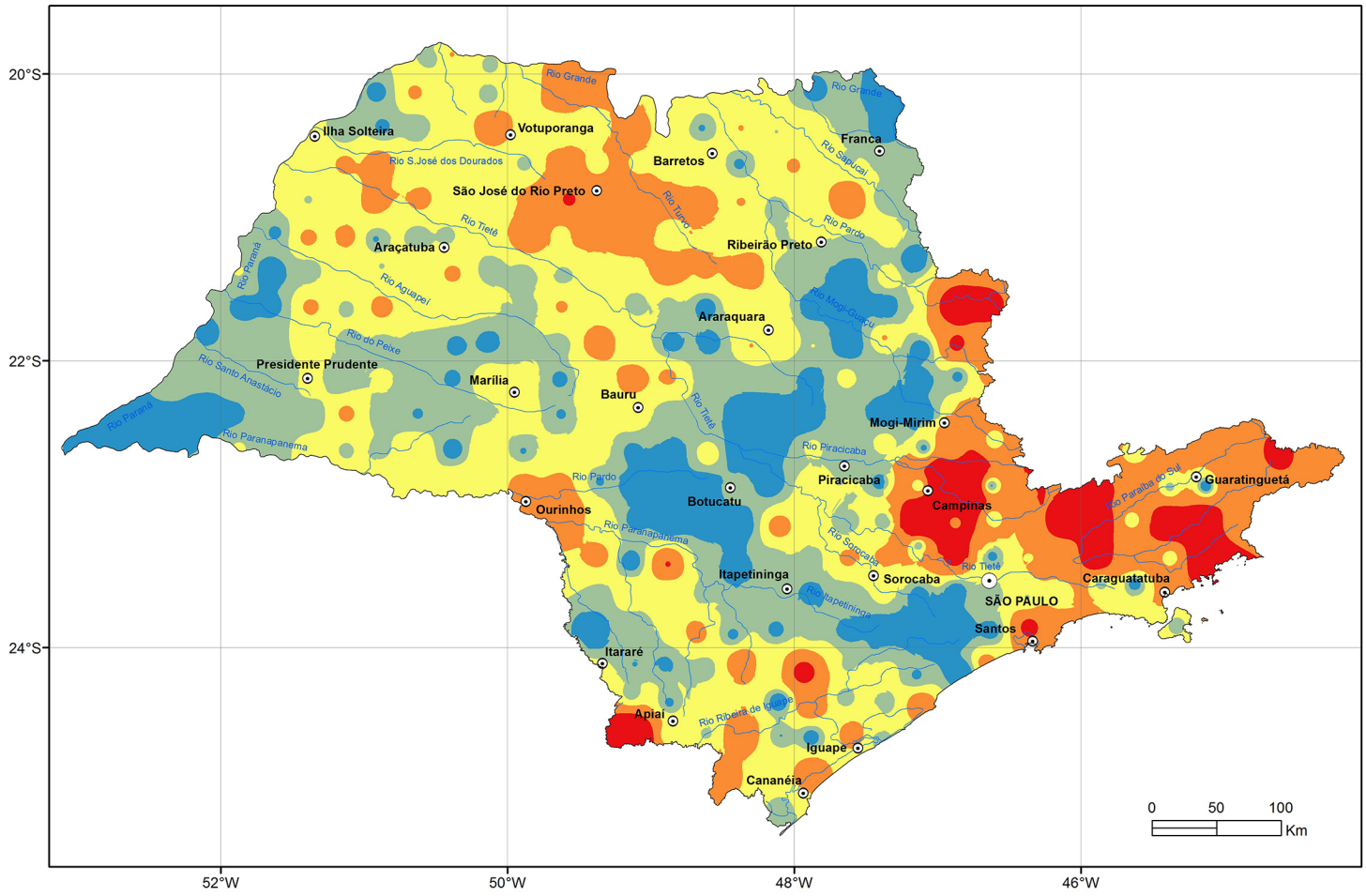


Estatística Descritiva

Elemento	La
Limite de detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1422
Valor mínimo	0,6
Valor máximo	1.413,0
Média	38,2
Mediana	13,7
Variância	6.634,0
Desvio padrão	81,4
Coeficiente de variação	2,1
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	31

Lantânio La

Solos

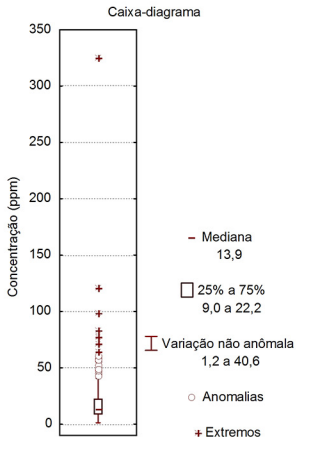


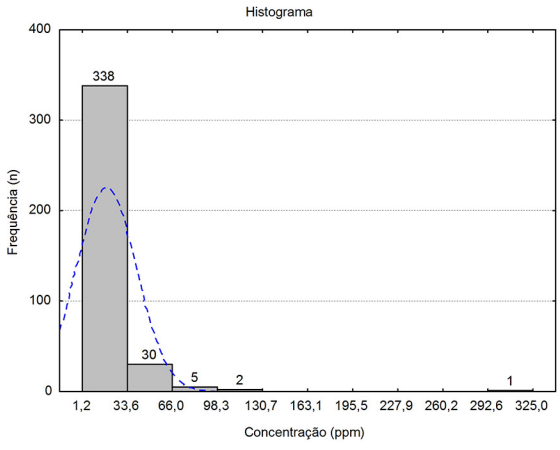
Legenda

- Cidade
- Rio

Lantânio (ppm)

- 1,2 a 9,0
- 9,1 a 13,9
- 14,0 a 22,2
- 22,3 a 42,0
- 42,1 a 325,0



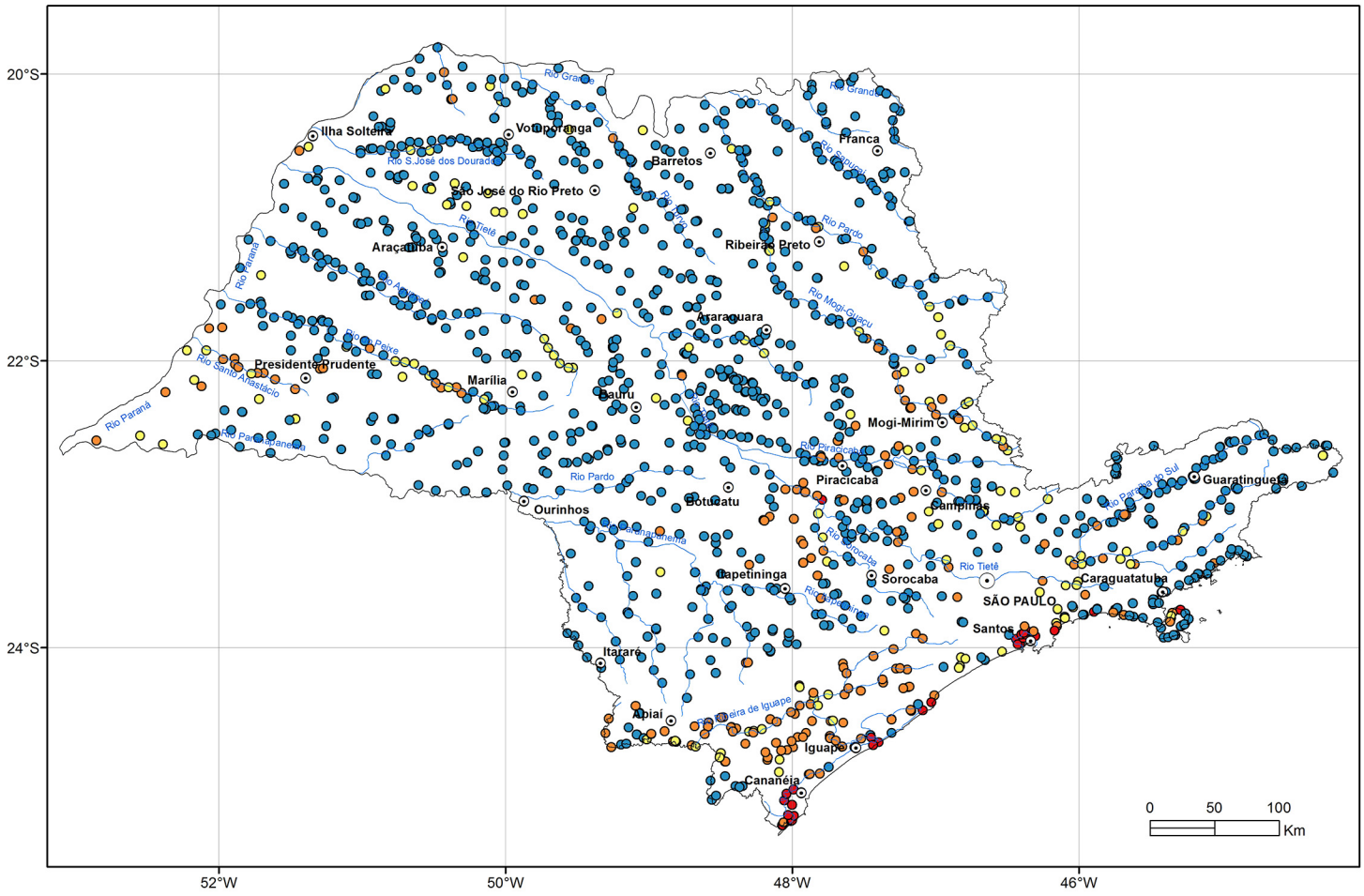


Estatística Descritiva

Elemento	La
Limite de Detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	13,9
Valor Mínimo	1,2
Valor Máximo	325,0
Média	18,4
Variância	463,7
Desvio Padrão	21,5
Coeficiente de Variação	1,17
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	31

Lítio Li

Águas



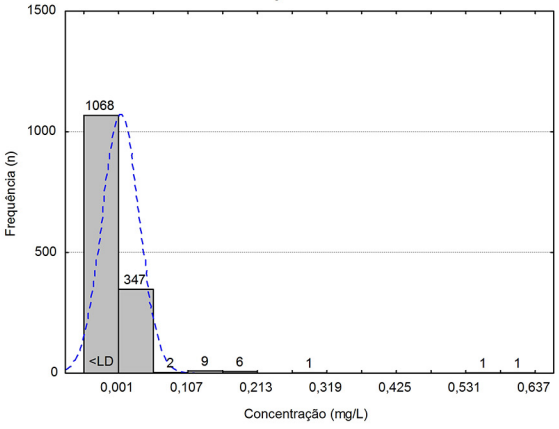
Legenda

- Cidade
- Rio

Lítio (mg/L)

- **<0,001**
- **0,001**
- **0,002 a 0,024**
- **0,025 a 0,629**

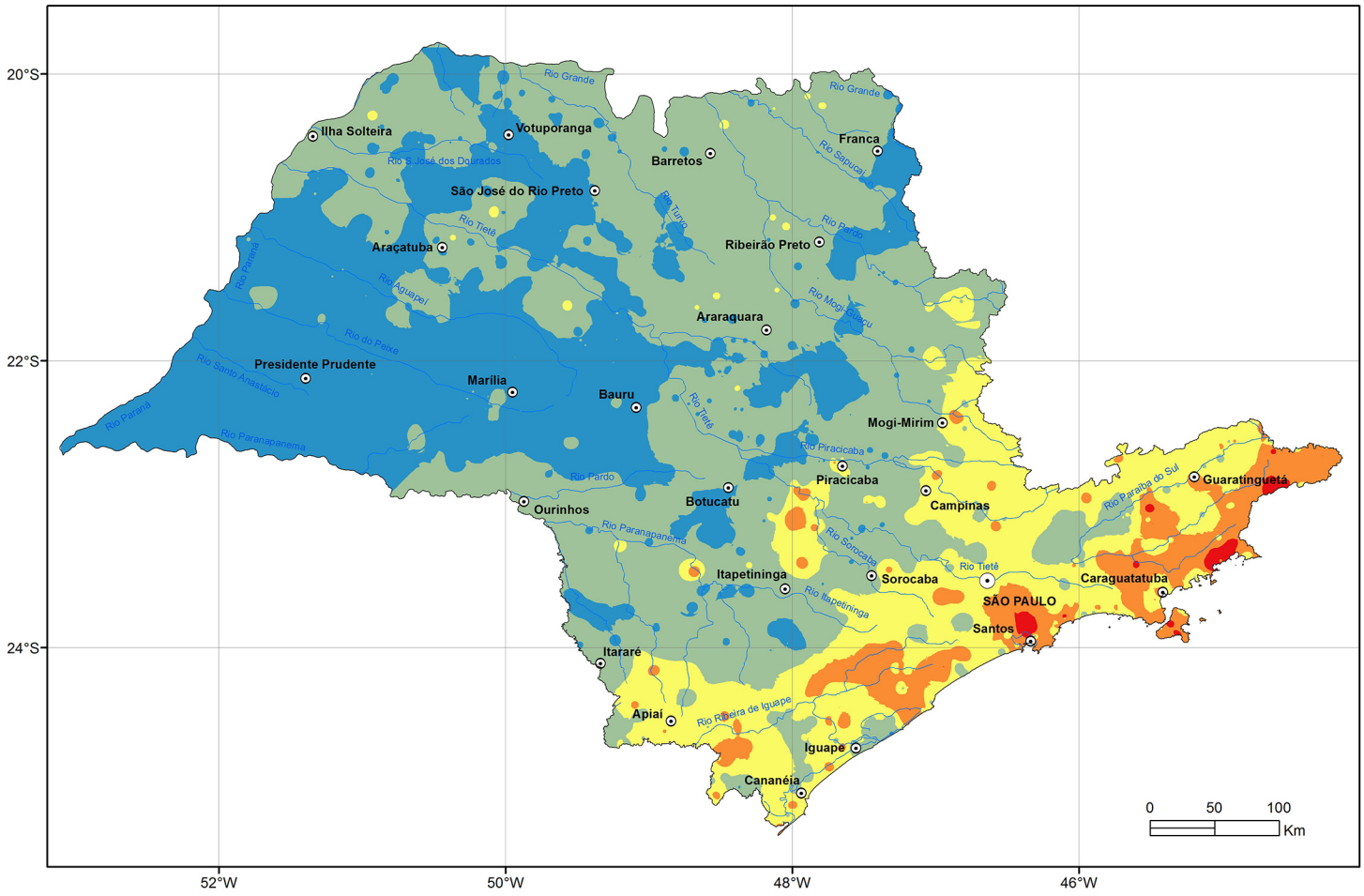
Histograma



Estatística Descritiva

Elemento	Li
Limite de Detecção (LD)	0,001 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	367
Valor Mínimo	<0,001
Valor Máximo	0,629
Média	0,004
Mediana	<0,001
Percentil 75	0,001
Percentil 90	0,002
Percentil 98	0,024
Referência nacional (BRASIL, 2005)	2,5
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,014
Referência consumo humano	-

Lítio Li Sedimentos

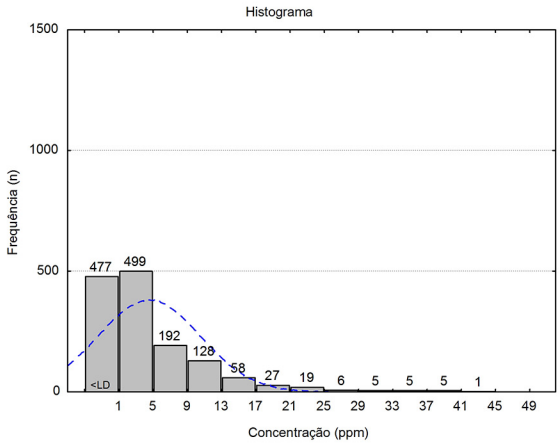


Lítio (ppm)

- <1
- 1 a 6
- 7 a 12
- 13 a 23
- 24 a 42

Legenda

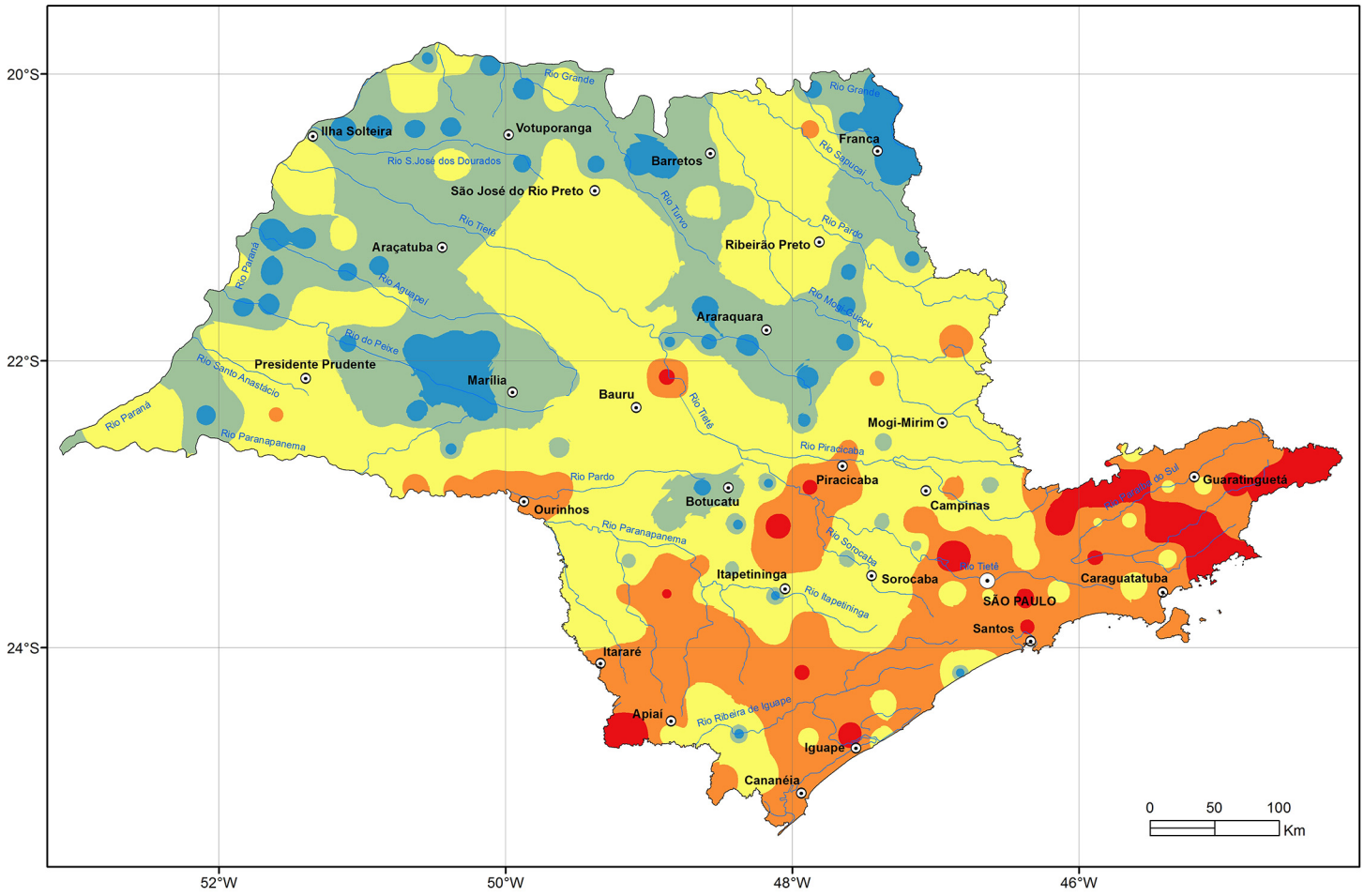
- Cidade
- Rio



Estatística Descritiva

Elemento	Li
Limite de detecção (LD)	1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	945
Valor mínimo	<1
Valor máximo	42
Média	4
Mediana	2
Percentil 75	6
Percentil 90	12
Percentil 98	23
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	21

Lítio Li Solos



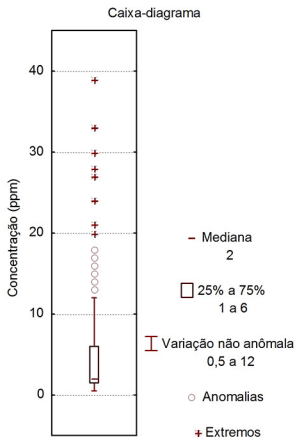
Legenda

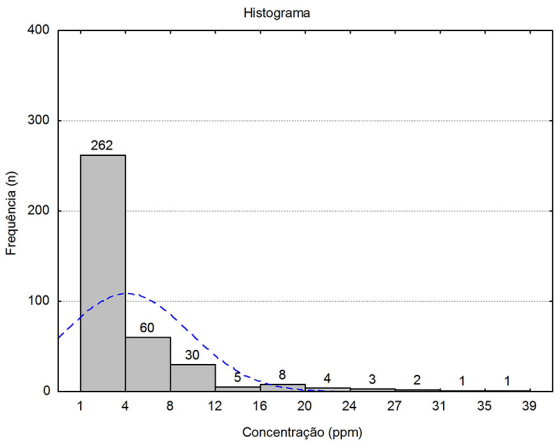
Cidade

Rio

Lítio (ppm)

- <1 a 1
- 2
- 3 a 6
- 7 a 14
- 15 a 39

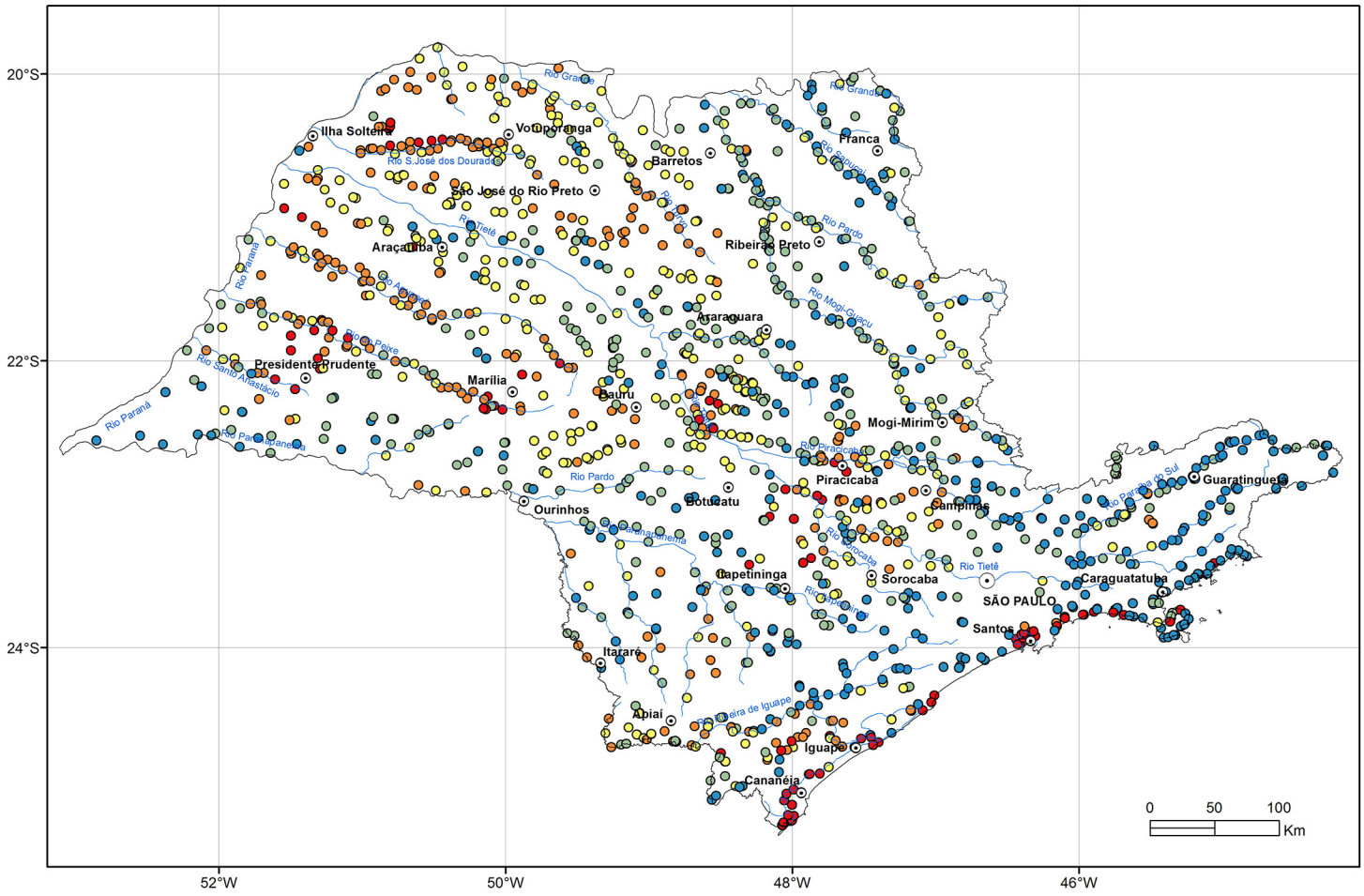




Estatística Descritiva

Elemento	Li
Limite de Detecção (LD)	1 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	325
Mediana	2
Valor Mínimo	<1
Valor Máximo	39
Média	4
Variância	28
Desvio Padrão	5
Coeficiente de Variação	1,2
Referência nacional	-
Referência internacional (Buchman, 2008)	2
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	21

Magnésio Mg Águas

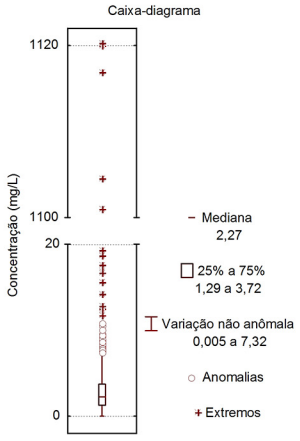


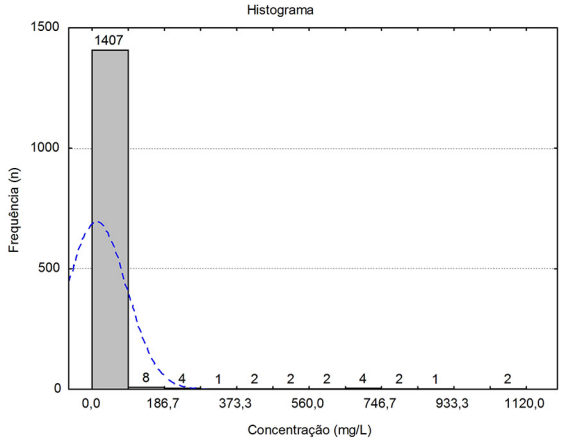
Magnésio (mg/L)

- **<0,01 a 1,29**
- **1,30 a 2,27**
- **2,28 a 3,72**
- **3,73 a 7,37**
- **7,38 a 1.120,0**

Legenda

- Cidade
- Rio

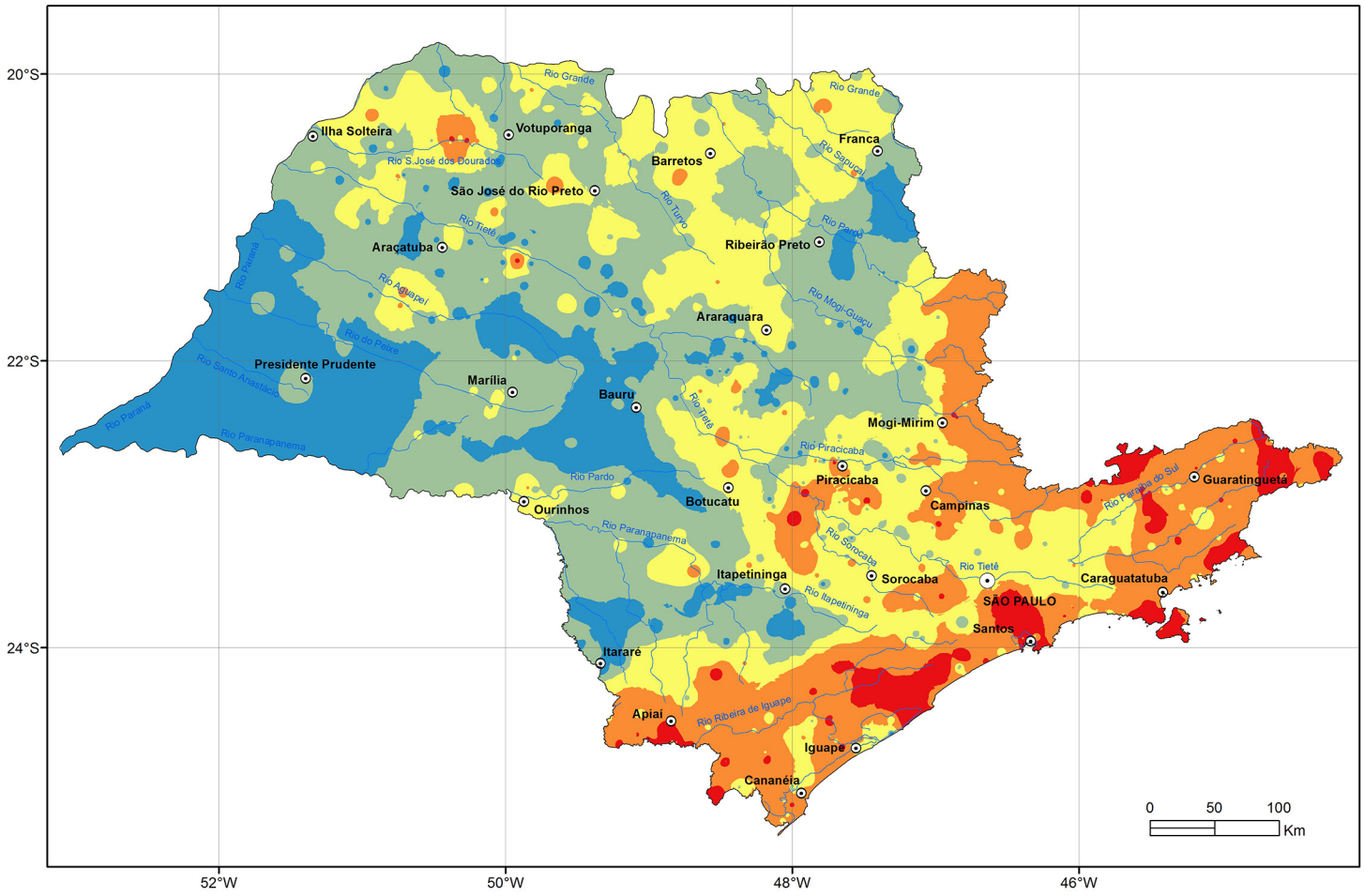




Estatística Descritiva

Elemento	Mg
Limite de Detecção (LD)	0,01 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	1431
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	1.120,00
Mediana	2,27
Média	12,01
Variância	5.906,21
Desvio Padrão	76,85
Coeficiente de Variação	6,4
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência consumo humano	-

Magnésio Mg Sedimentos

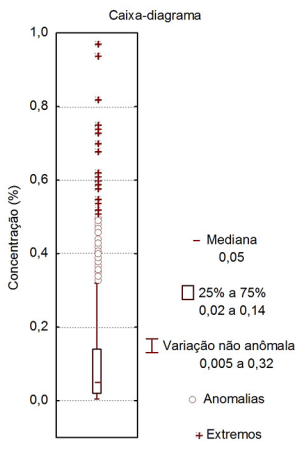


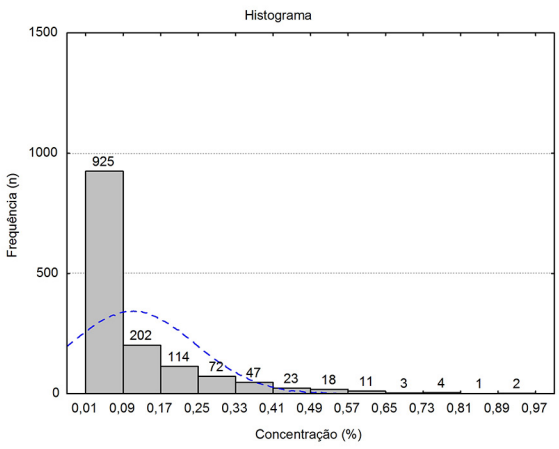
Magnésio (%)

- <0,01 a 0,02
- 0,03 a 0,05
- 0,06 a 0,14
- 0,15 a 0,32
- 0,33 a 0,97

Legenda

- Cidade
- Rio

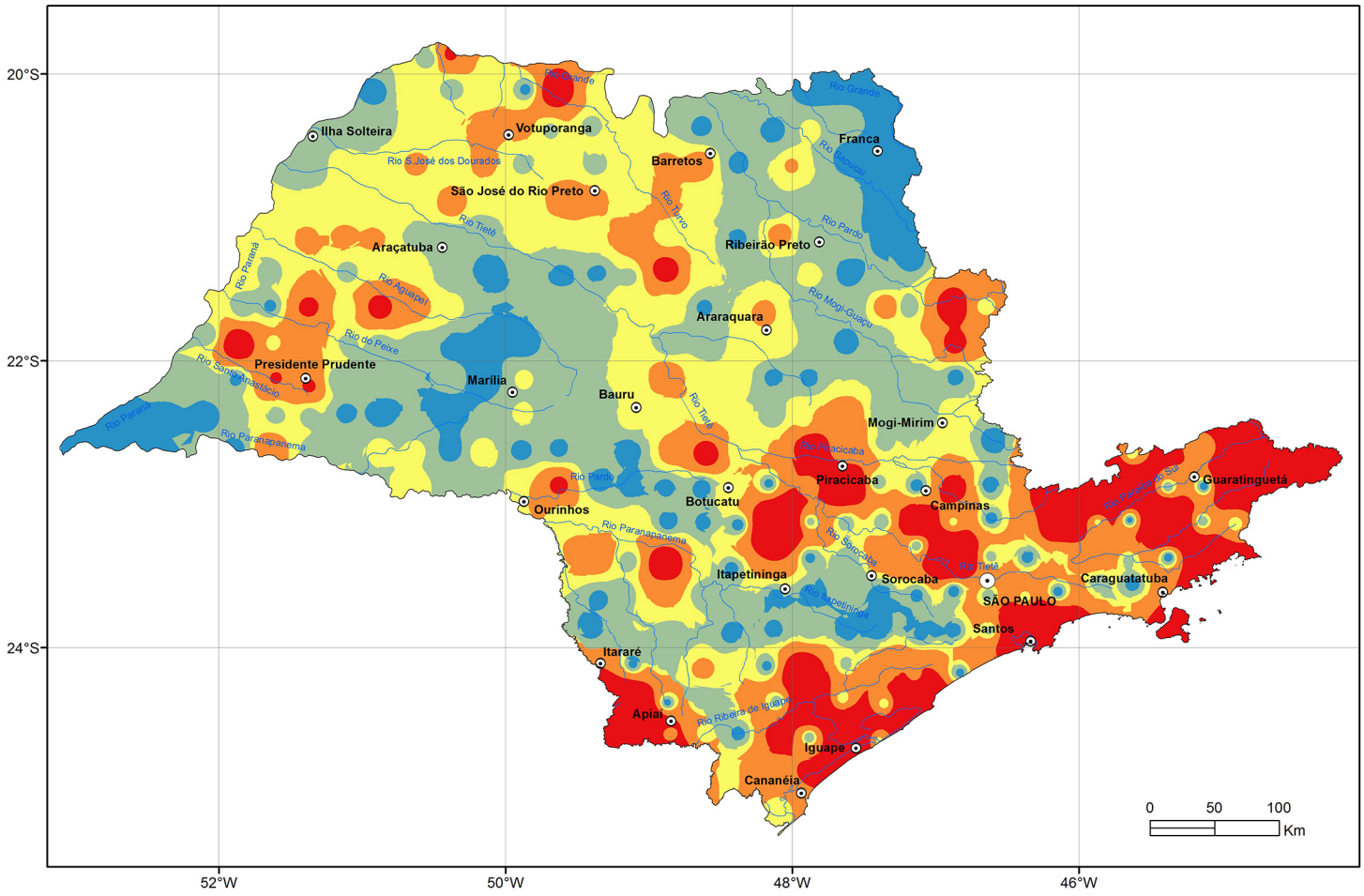




Estatística Descritiva

Elemento	Mg
Limite de detecção (LD)	0,01 (%)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1309
Valor mínimo	<0,01
Valor máximo	0,97
Média	0,10
Mediana	0,05
Variância	0,02
Desvio padrão	0,13
Coeficiente de variação	1,3
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Wedepohl, 1995)	1,35

Magnésio Mg Solos

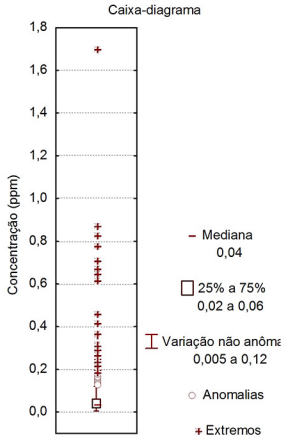


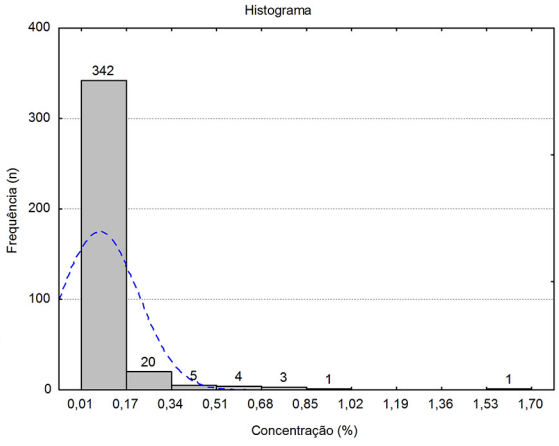
Magnésio (%)

- <0,01 a 0,02
- 0,03 a 0,04
- 0,05 a 0,06
- 0,07 a 0,12
- 0,13 a 1,70

Legenda

- Cidade
- Rio

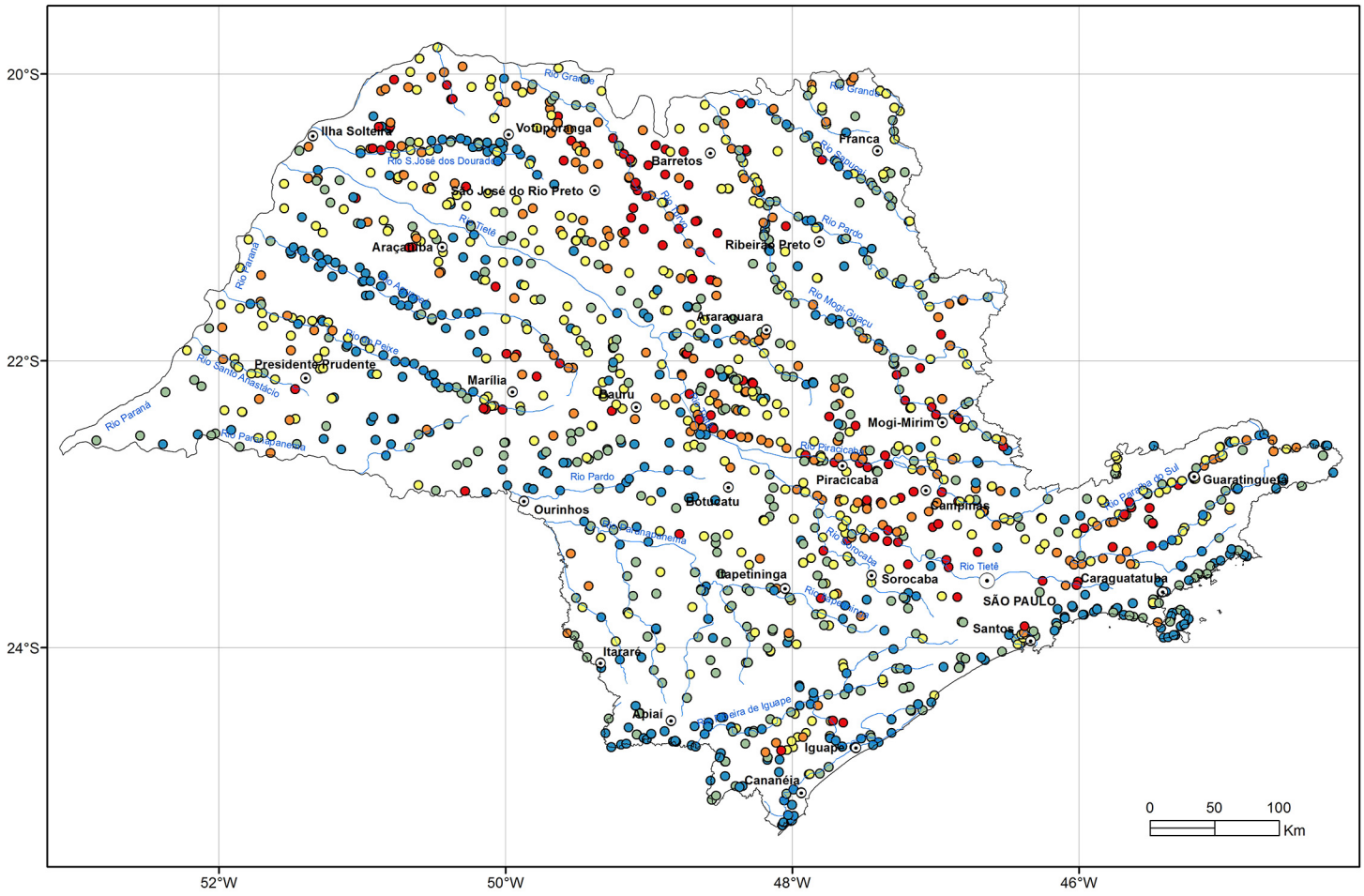




Estatística Descritiva

Elemento	Mg
Limite de Detecção (LD)	0,01 (%)
Número de medidas	376
Resultos > LD	339
Mediana	0,04
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	1,70
Média	0,07
Variância	0,02
Desvio Padrão	0,15
Coeficiente de Variação	2,0
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Wedepohl, 1995)	1,35

Mangânes Mn Águas

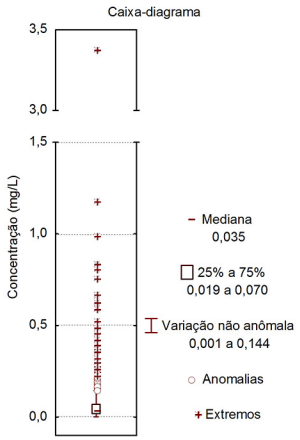


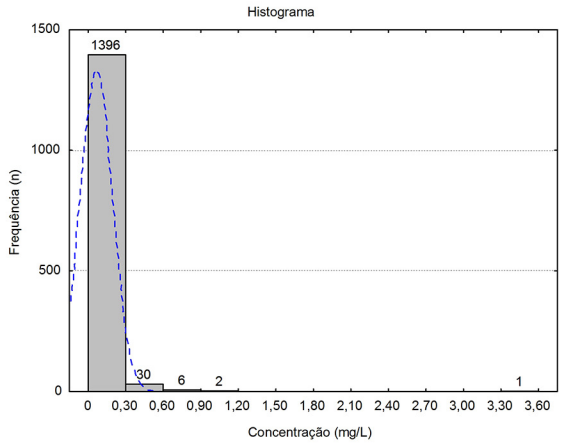
Mangânes (mg/L)

- **<0,002 a 0,019**
- **0,020 a 0,035**
- **0,036 a 0,070**
- **0,071 a 0,147**
- **0,148 a 3,380**

Legenda

- Cidade
- Rio

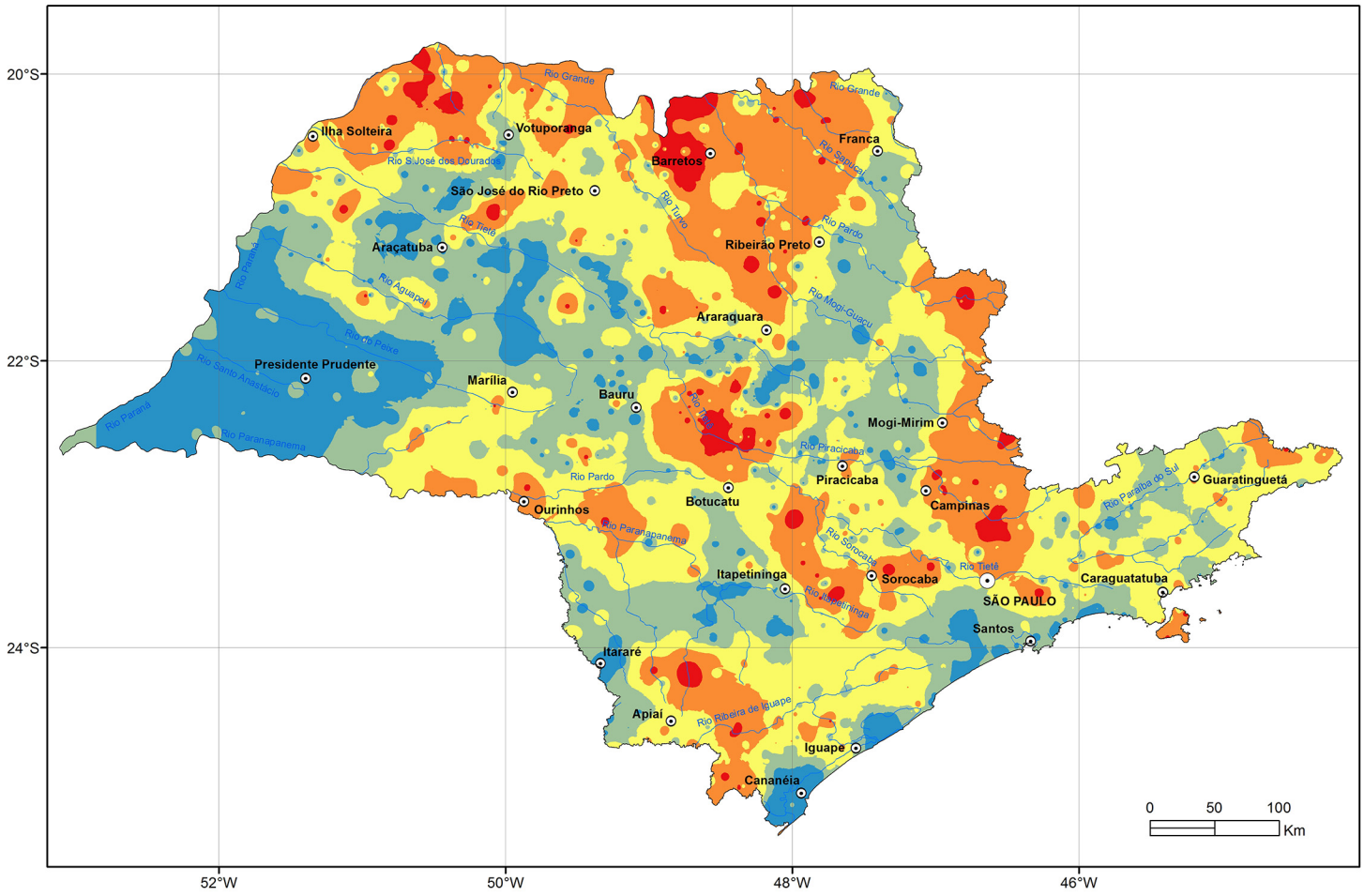




Estatística Descritiva

Elemento	Mn
Limite de Detecção (LD)	0,002 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	1251
Valor Mínimo	<0,002
Valor Máximo	3,380
Mediana	0,035
Média	0,064
Variância	0,017
Desvio Padrão	0,129
Coeficiente de Variação	2,0
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,1
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,08
Referência consumo humano (BRASIL, 2011)	0,1

Manganês Mn Sedimentos

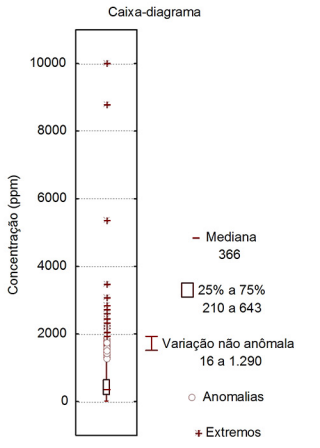


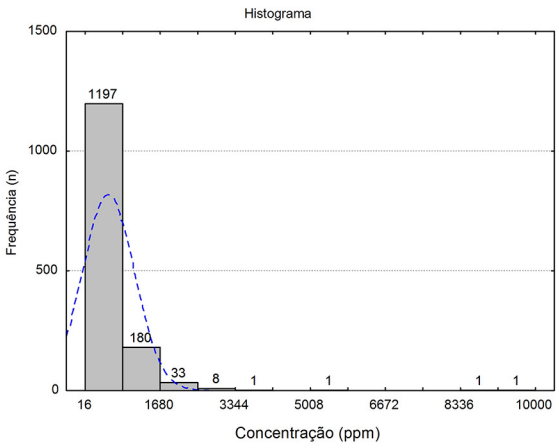
Legenda

- Cidade
- Rio

Manganês (ppm)

- 16 a 210
- 211 a 366
- 377 a 643
- 644 a 1.292
- 1.293 a >10.000

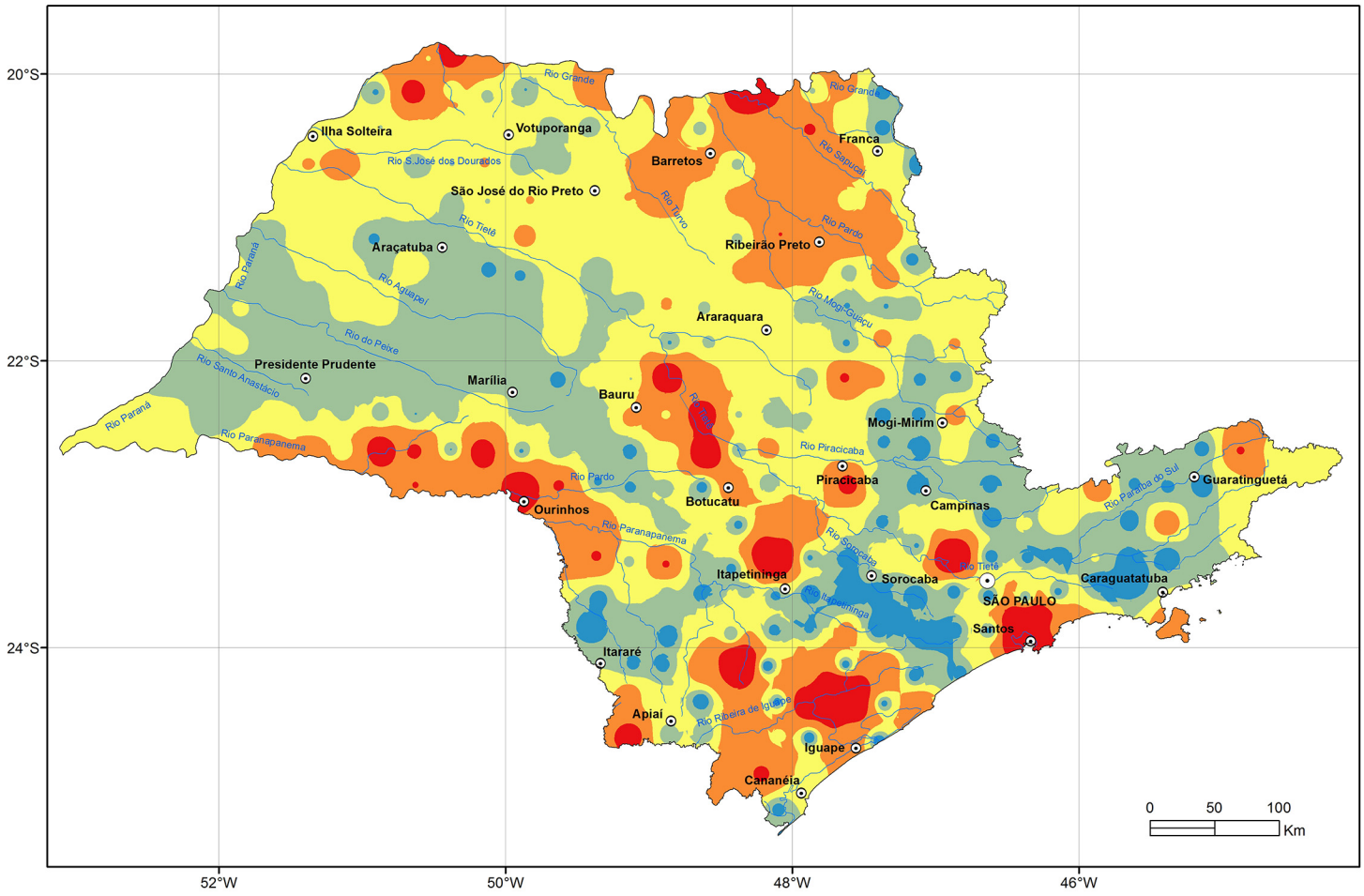




Estatística Descritiva

Elemento	Mn
Limite de detecção (LD)	5 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1422
Valor mínimo	16
Valor máximo	>10.000
Média	524
Mediana	366
Variância	332.929
Desvio padrão	577
Coeficiente de variação	1,1
Referência nacional	-
Referência internacional (Buchman, 2008)	460
Referência crosta superior (Wedepohl, 1995)	527

Manganês Mn Solos

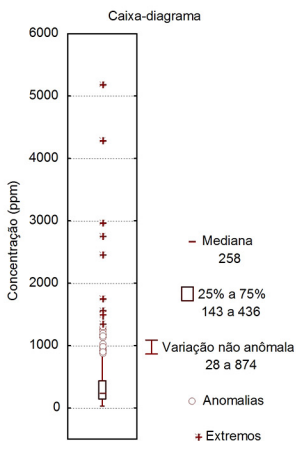


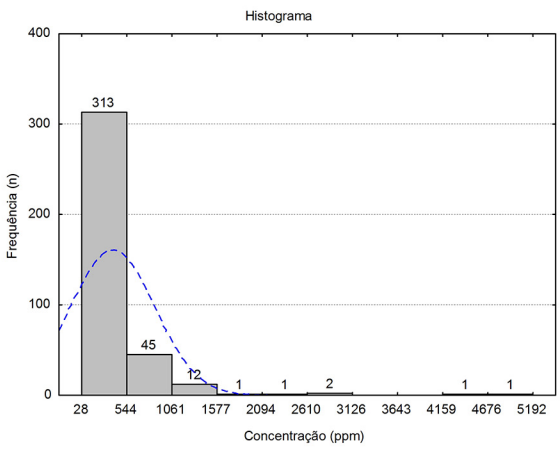
Manganês (ppm)

- 28 a 143
- 144 a 258
- 259 a 436
- 437 a 876
- 877 a 5.192

Legenda

- Cidade
- Rio

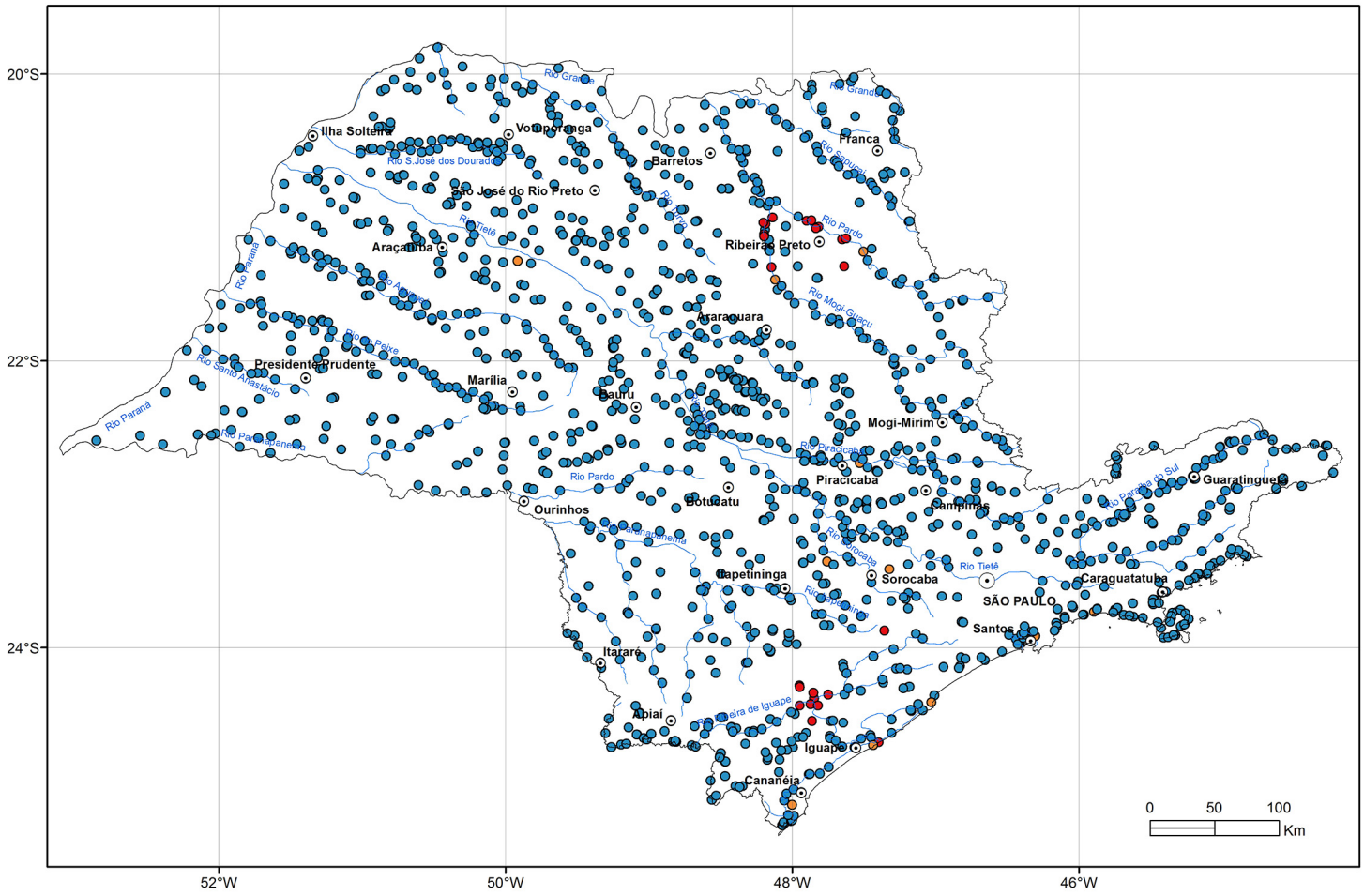




Estatística Descritiva

Elemento	Mn
Limite de Detecção (LD)	5 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	258
Valor Mínimo	28
Valor Máximo	5.192
Média	381
Variância	232.040
Desvio Padrão	482
Coeficiente de Variação	1,3
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Wedepohl, 2005)	527

Molibdênio Mo Águas

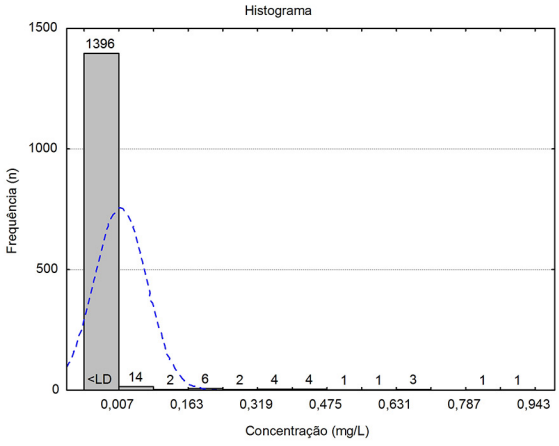


Legenda

- Cidade
- Rio

Molibdênio (mg/L)

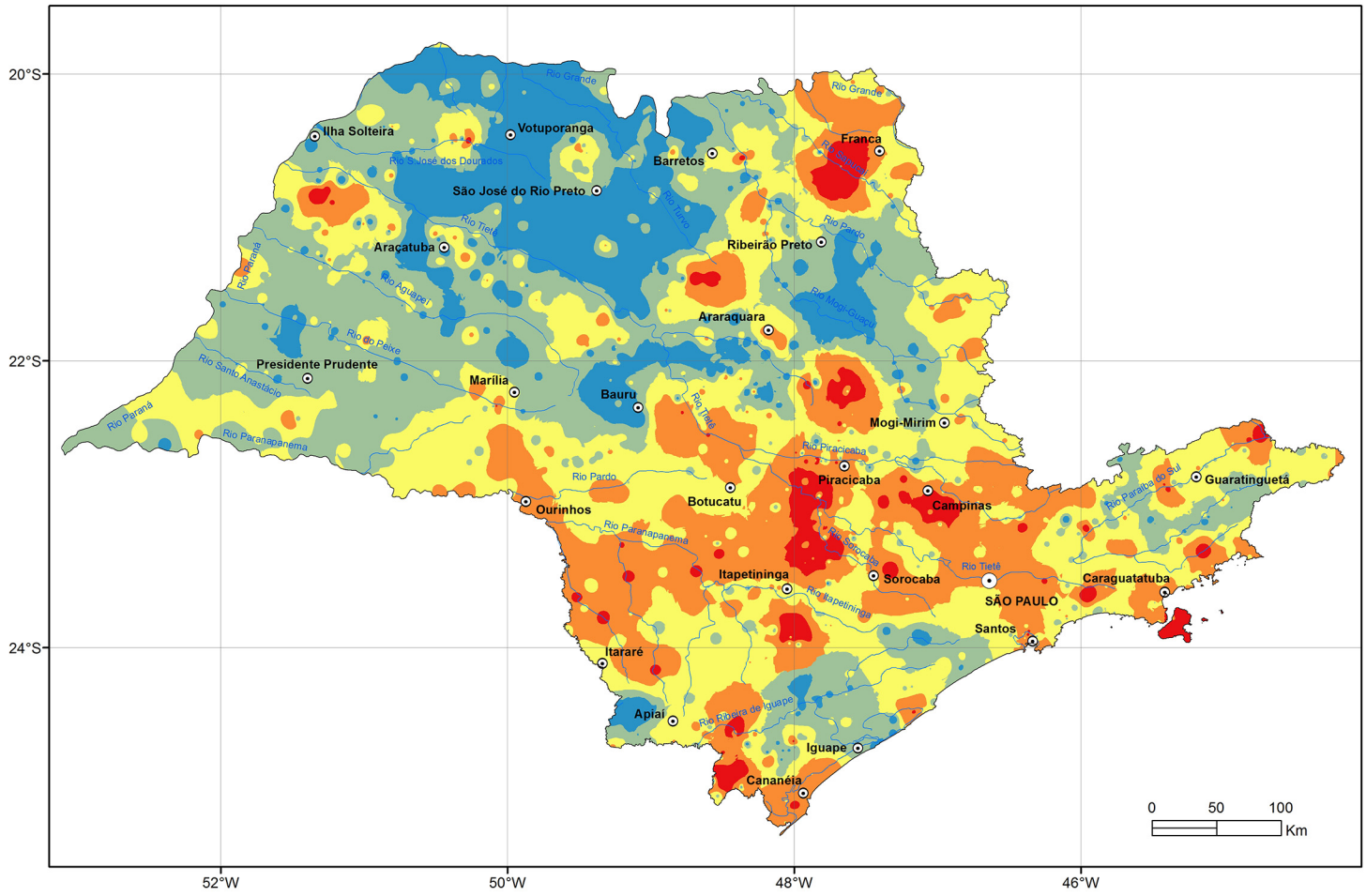
- **<0,007**
- **0,007 a 0,030**
- **0,031 a 0,940**



Estatística Descritiva

Elemento	Mo
Limite de Detecção (LD)	0,007 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	39
Valor Mínimo	<0,007
Valor Máximo	0,940
Média	0,010
Mediana	<0,007
Percentil 75	<0,007
Percentil 90	<0,007
Percentil 98	0,030
Referência internacional (CCME, 1999)	0,073
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,034
Referência consumo humano (CETESB, 2014)	0,03

Molibdênio Mo Sedimentos

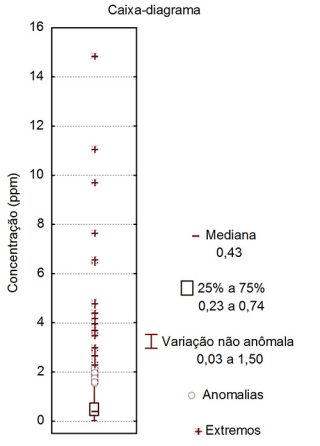


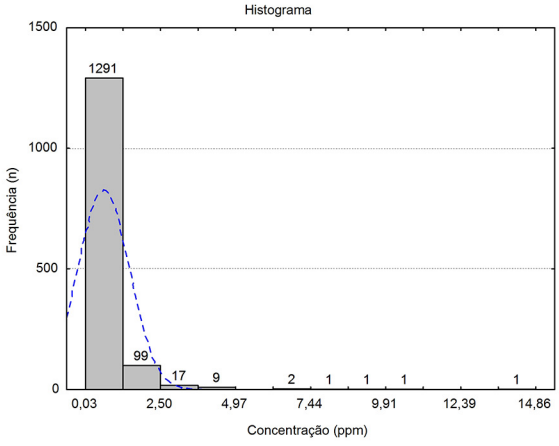
Legenda

- Cidade
- Rio

Molibdênio (ppm)

- <0,05 a 0,23
- 0,24 a 0,43
- 0,44 a 0,74
- 0,75 a 1,50
- 1,51 a 14,86

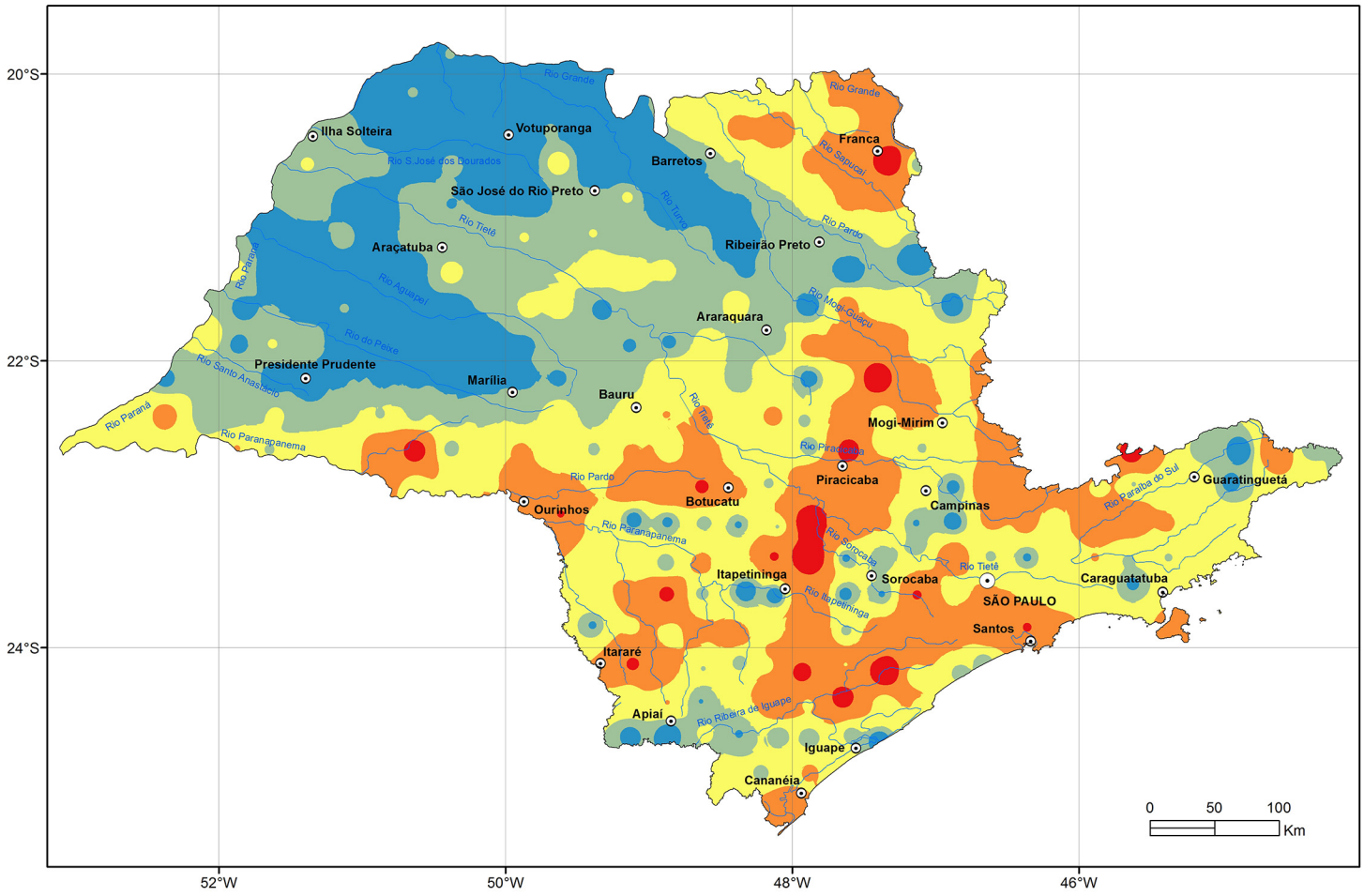




Estatística Descritiva

Elemento	Mo
Limite de detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1317
Valor mínimo	<0,05
Valor máximo	14,86
Média	0,62
Mediana	0,43
Variância	0,72
Desvio padrão	0,85
Coeficiente de variação	1,4
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	1,1

Molibdênio Mo Solos

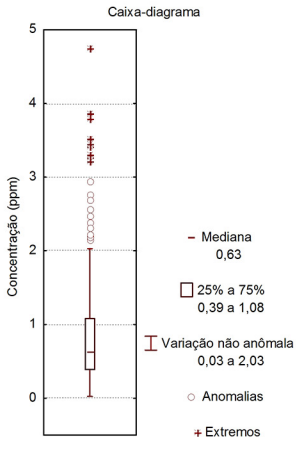


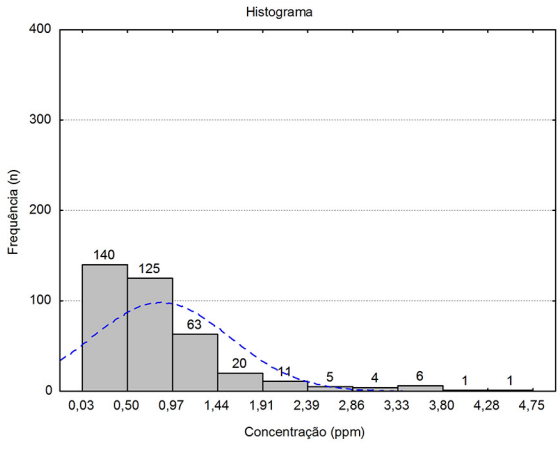
Molibdênio (ppm)

- <0,05 a 0,39
- 0,40 a 0,63
- 0,64 a 1,08
- 1,09 a 2,10
- 2,11 a 4,75

Legenda

- Cidade
- Rio

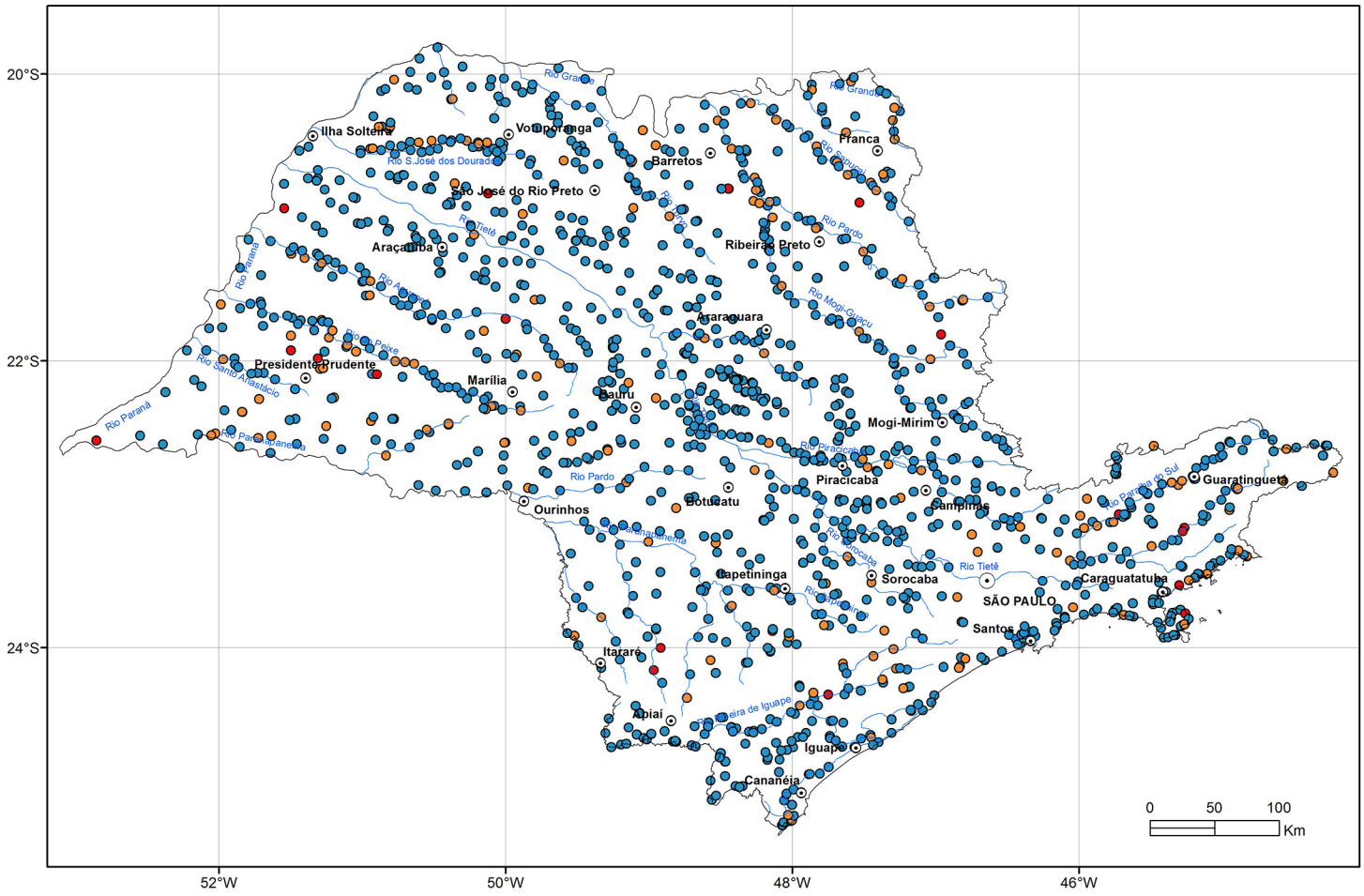




Estatística Descritiva

Elemento	Mo
Limite de Detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	364
Mediana	0,63
Valor Mínimo	<0,05
Valor Máximo	4,75
Média	0,84
Variância	0,52
Desvio Padrão	0,72
Coeficiente de Variação	0,9
Referência nacional (CETESB, 2014)	5
Referência internacional (Buchman, 2008)	3
Média na crosta superior (Wedepohl, 2005)	1,1

Nitrito NO_2^- Águas

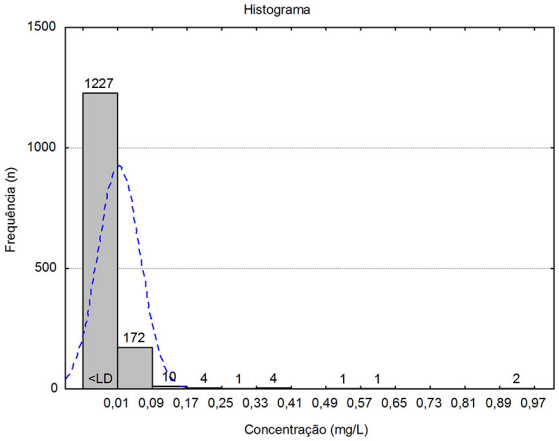


Legenda

- Cidade
- Rio

Nitrito (mg/L)

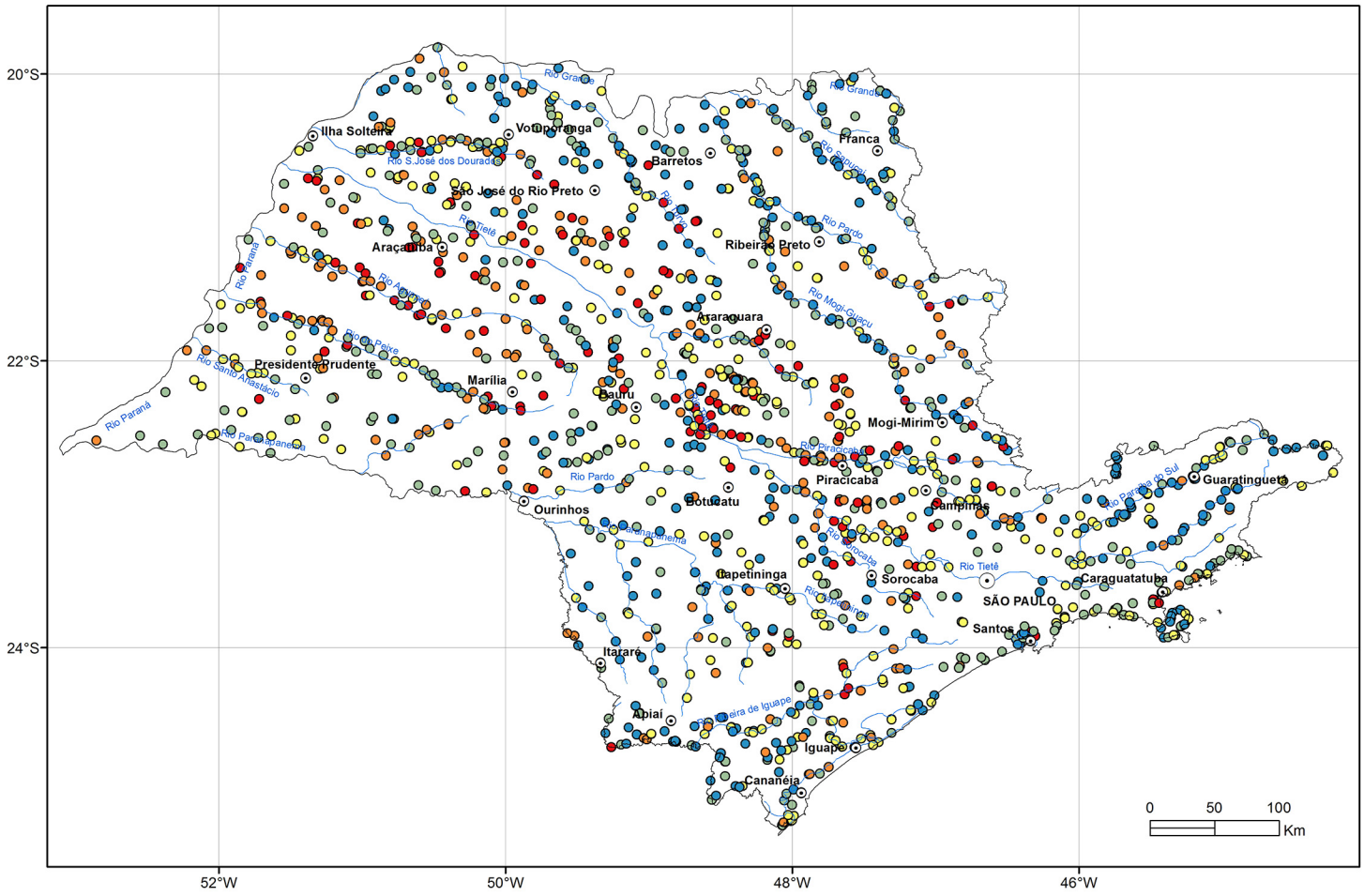
- **<0,01**
- **0,01 a 0,09**
- **0,10 a 0,94**



Estatística Descritiva

Elemento	NO_2^-
Limite de Detecção (LD)	0,01 (mg/L)
Número de medidas	1422
Resultos > LD	195
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	0,94
Média	<0,01
Mediana	<0,01
Percentil 75	<0,01
Percentil 90	0,01
Percentil 98	0,09
Referência nacional (BRASIL, 2005)	1
Referência internacional (CCME, 1987)	0,06
Referência consumo humano (BRASIL, 2011)	1

Nitrato NO_3^- Águas

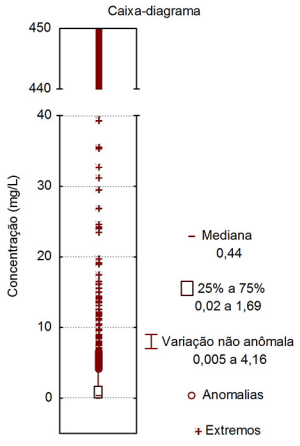


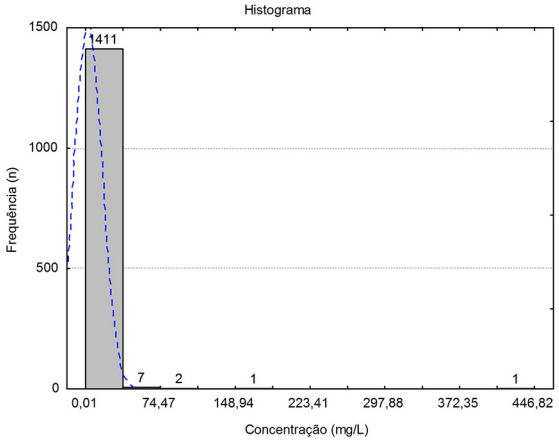
Nitrato (mg/L)

- <0,01 a 0,02
- 0,03 a 0,44
- 0,45 a 1,69
- 1,70 a 4,19
- 4,20 a 446,82

Legenda

- Cidade
- Rio

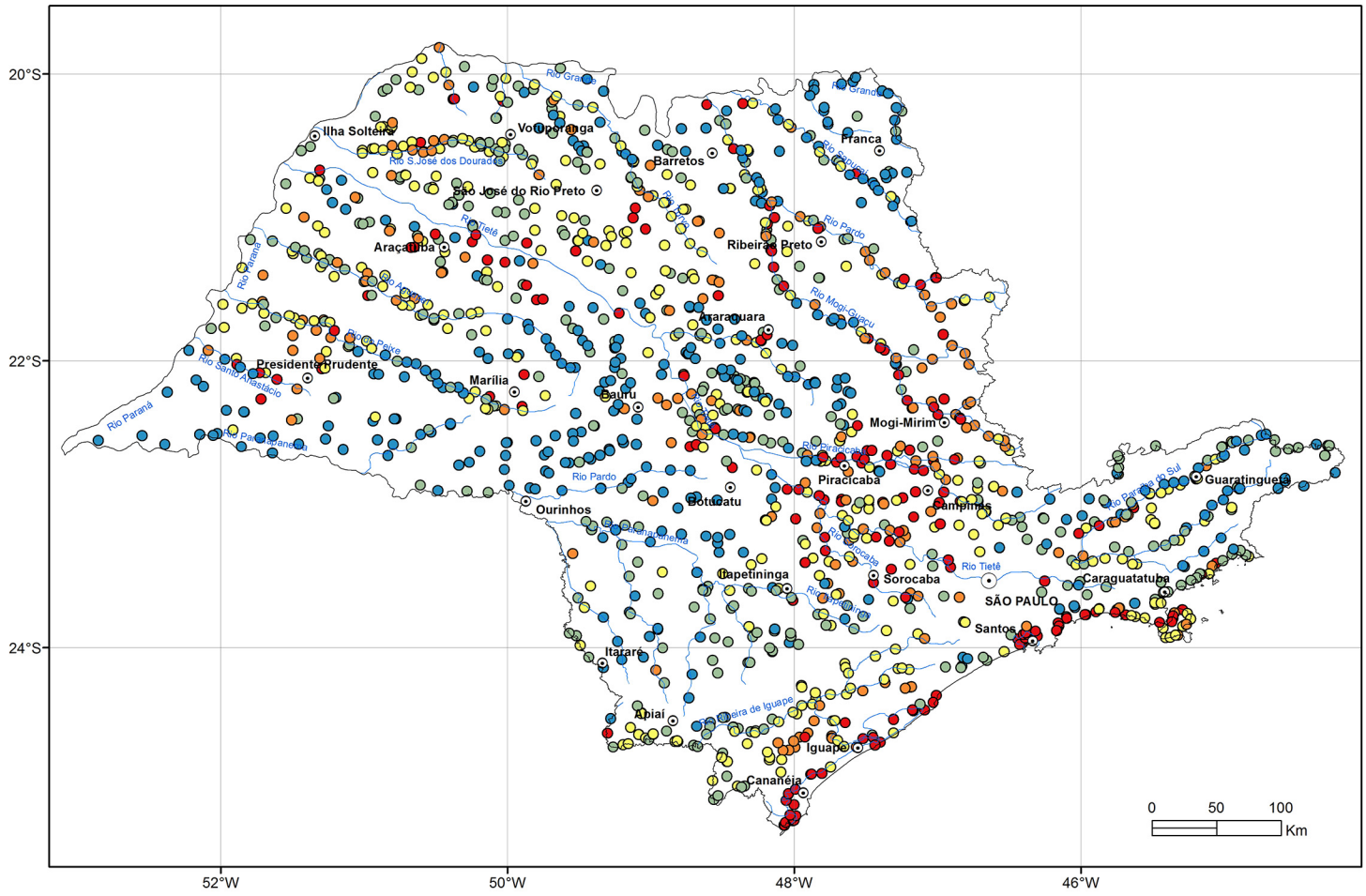




Estatística Descritiva

Elemento	NO_3^-
Limite de Detecção (LD)	0,01 (mg/L)
Número de medidas	1422
Resultos > LD	1075
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	446,82
Média	2,40
Mediana	0,44
Variância	193,72
Desvio Padrão	13,92
Coeficiente de Variação	5,8
Referência nacional (BRASIL, 2005)	10
Referência internacional (CCME, 2012)	13
Referência consumo humano (BRASIL, 2011)	10

Sódio Na Águas

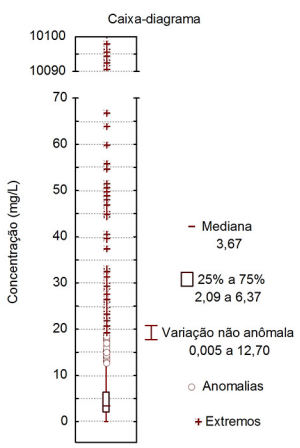


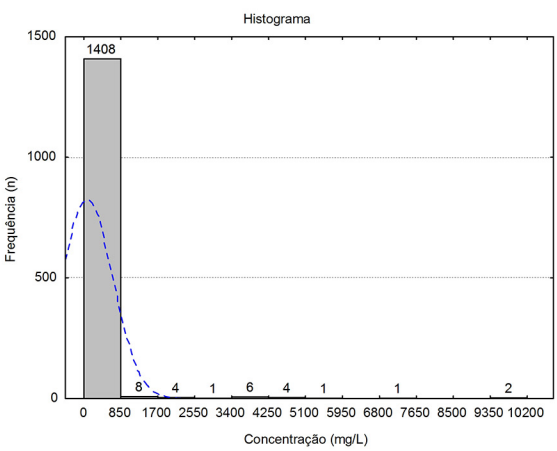
Sódio (mg/L)

- **<0,01 a 2,09**
- **2,10 a 3,67**
- **3,68 a 6,37**
- **6,38 a 12,78**
- **12,79 a 10.098,0**

Legenda

- Cidade
- Rio

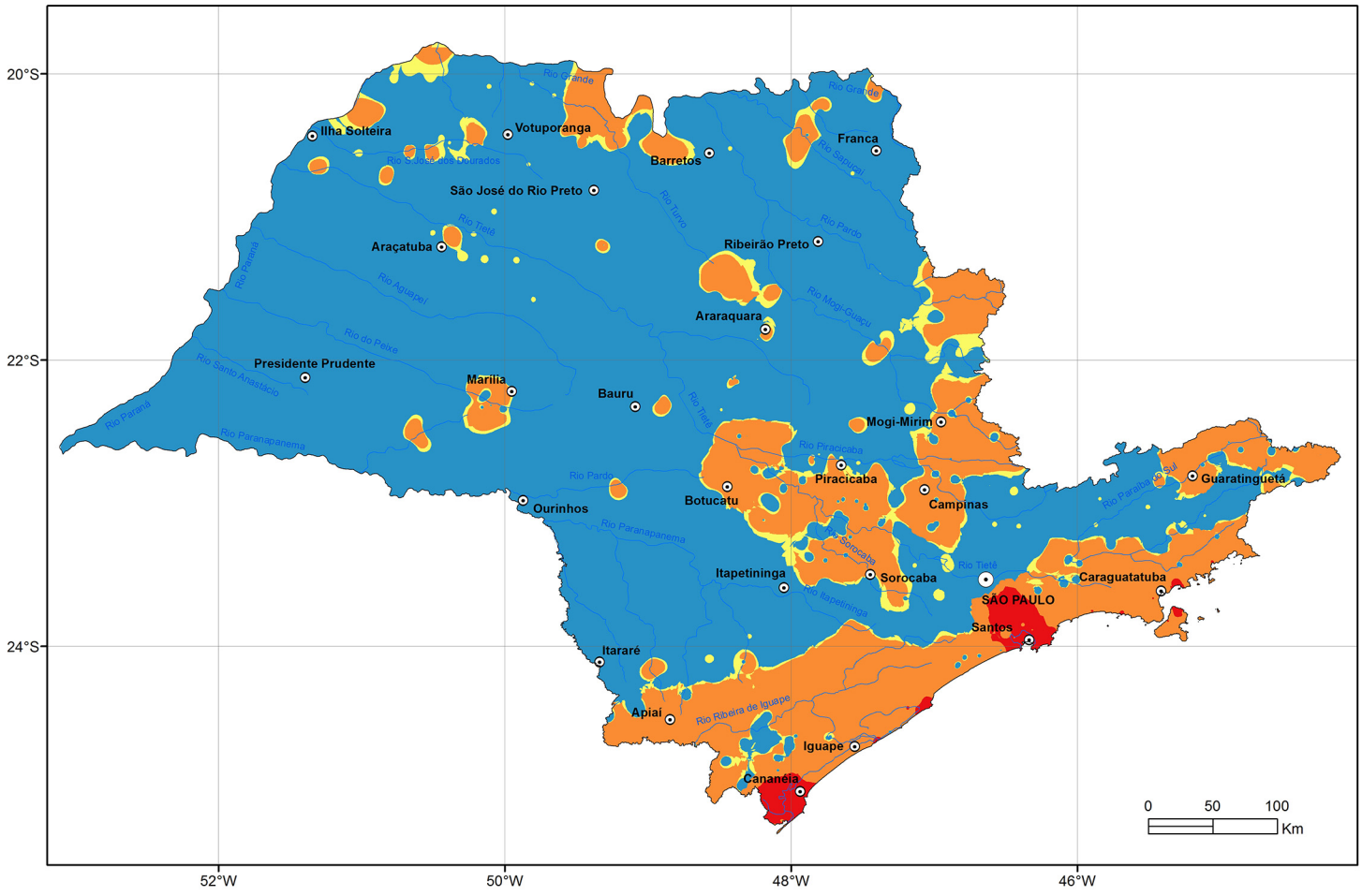




Estatística Descritiva

Elemento	Na
Limite de Detecção (LD)	0,01 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	1430
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	10.098,00
Mediana	3,67
Média	76,41
Variância	347.836,50
Desvio Padrão	589,78
Coeficiente de Variação	7,7
Referência nacional e/ou internacional	-
Referência consumo humano (WHO, 2011)	50
Referência consumo humano (BRASIL, 2011)	200

Sódio Na Sedimentos

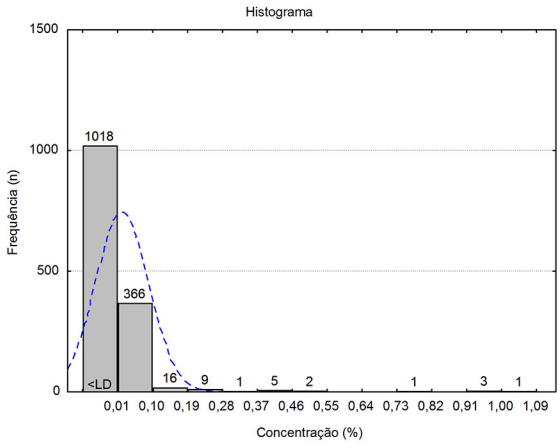


Legenda

- Cidade
- Rio

Sódio (%)

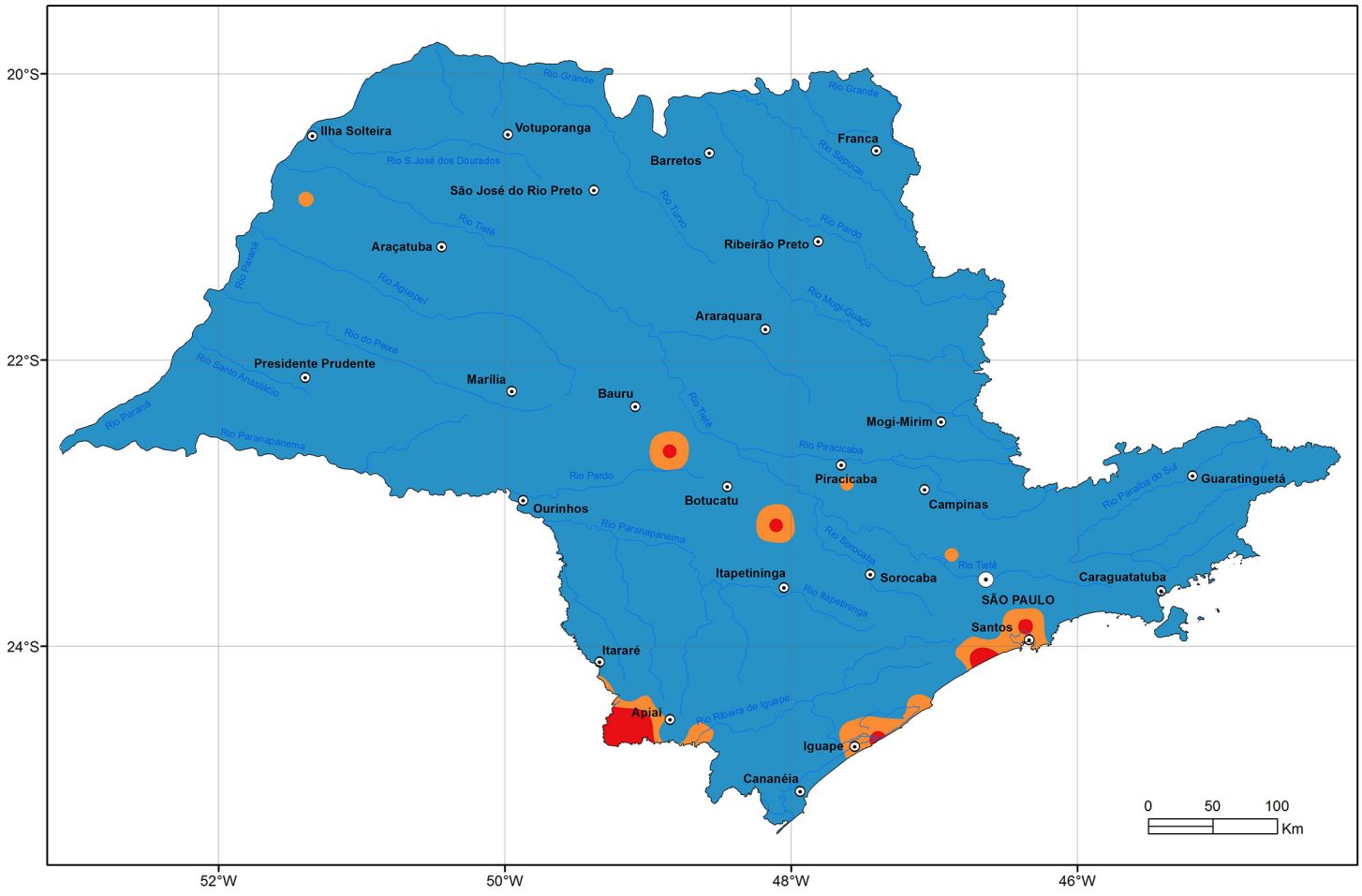
- <0,01
- 0,01
- 0,02 a 0,14
- 0,15 a 1,01



Estatística Descritiva

Elemento	Na
Limite de detecção (LD)	0,01 (%)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	404
Valor mínimo	<0,01
Valor máximo	1,01
Média	0,02
Mediana	<0,01
Percentil 75	0,01
Percentil 90	0,03
Percentil 98	0,14
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Wedepohl, 1995)	2,57

Sódio Na Solos



Legenda

Cidade

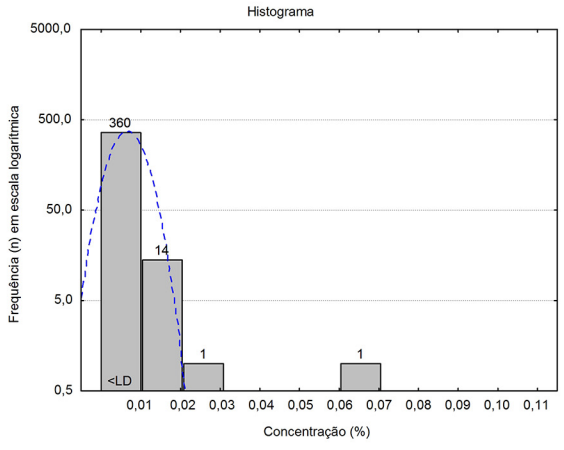
Rio

Sódio (%)

<0,01

0,01

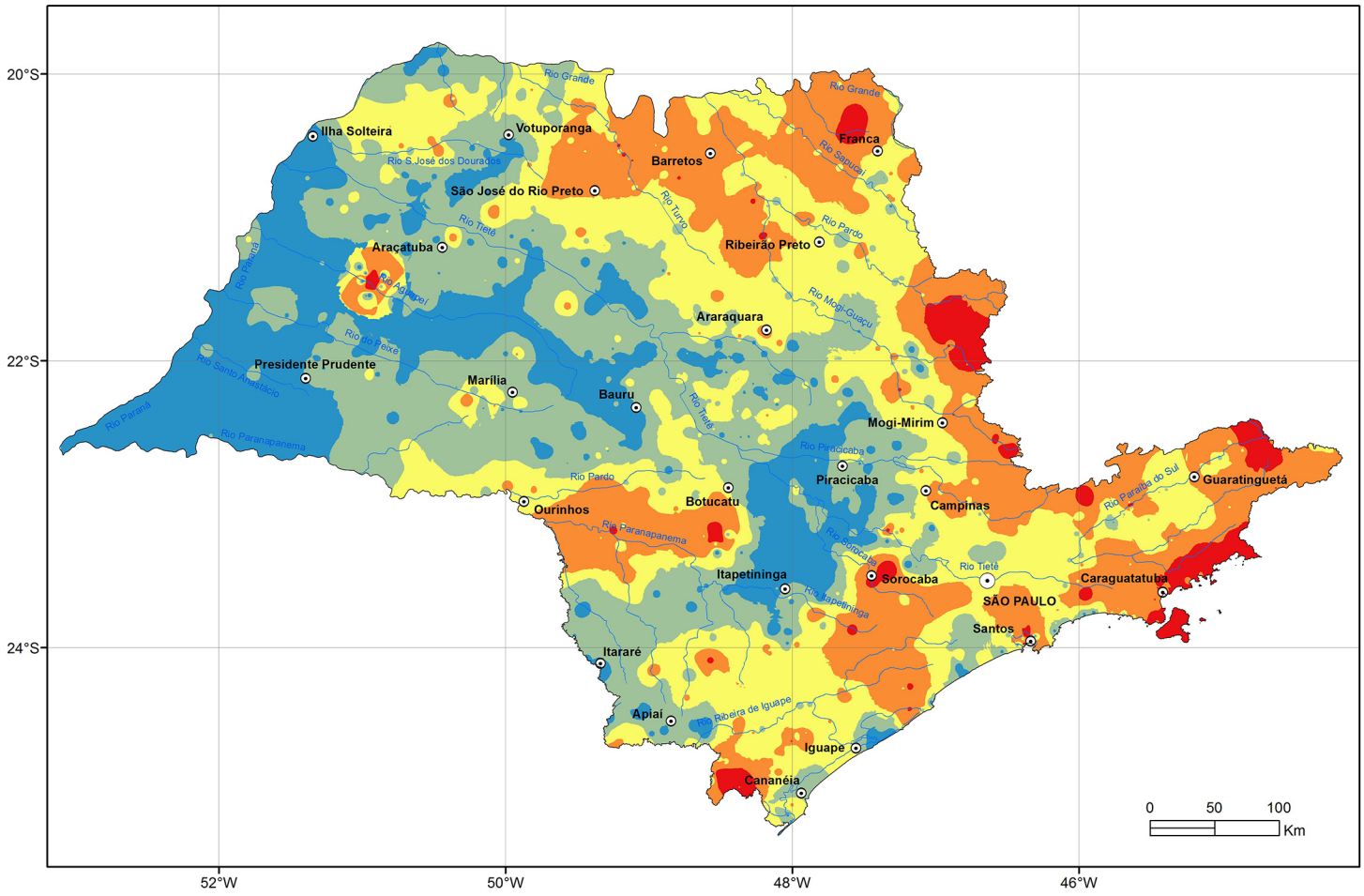
0,02 a 0,07



Estatística Descritiva

Elemento	Na
Limite de Detecção (LD)	0,01 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	16
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	0,07
Média	<0,01
Mediana	<0,01
Percentil 75	<0,01
Percentil 90	<0,01
Percentil 98	0,01
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	2,57

Nióbio Nb Sedimentos

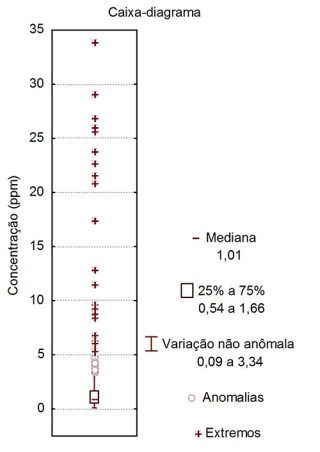


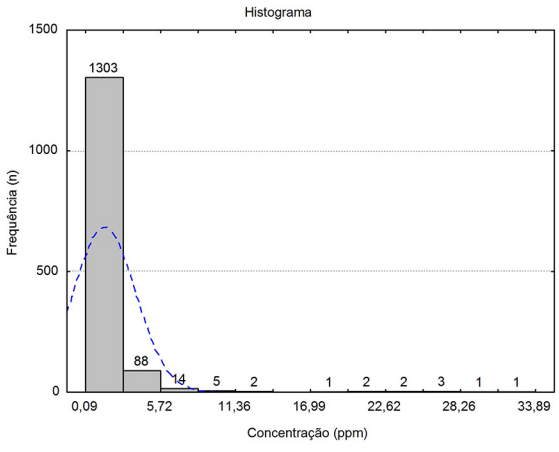
Nióbio (ppm)

- 0,09 a 0,54
- 0,55 a 1,01
- 1,02 a 1,66
- 1,67 a 3,34
- 3,35 a 33,89

Legenda

- Cidade
- Rio

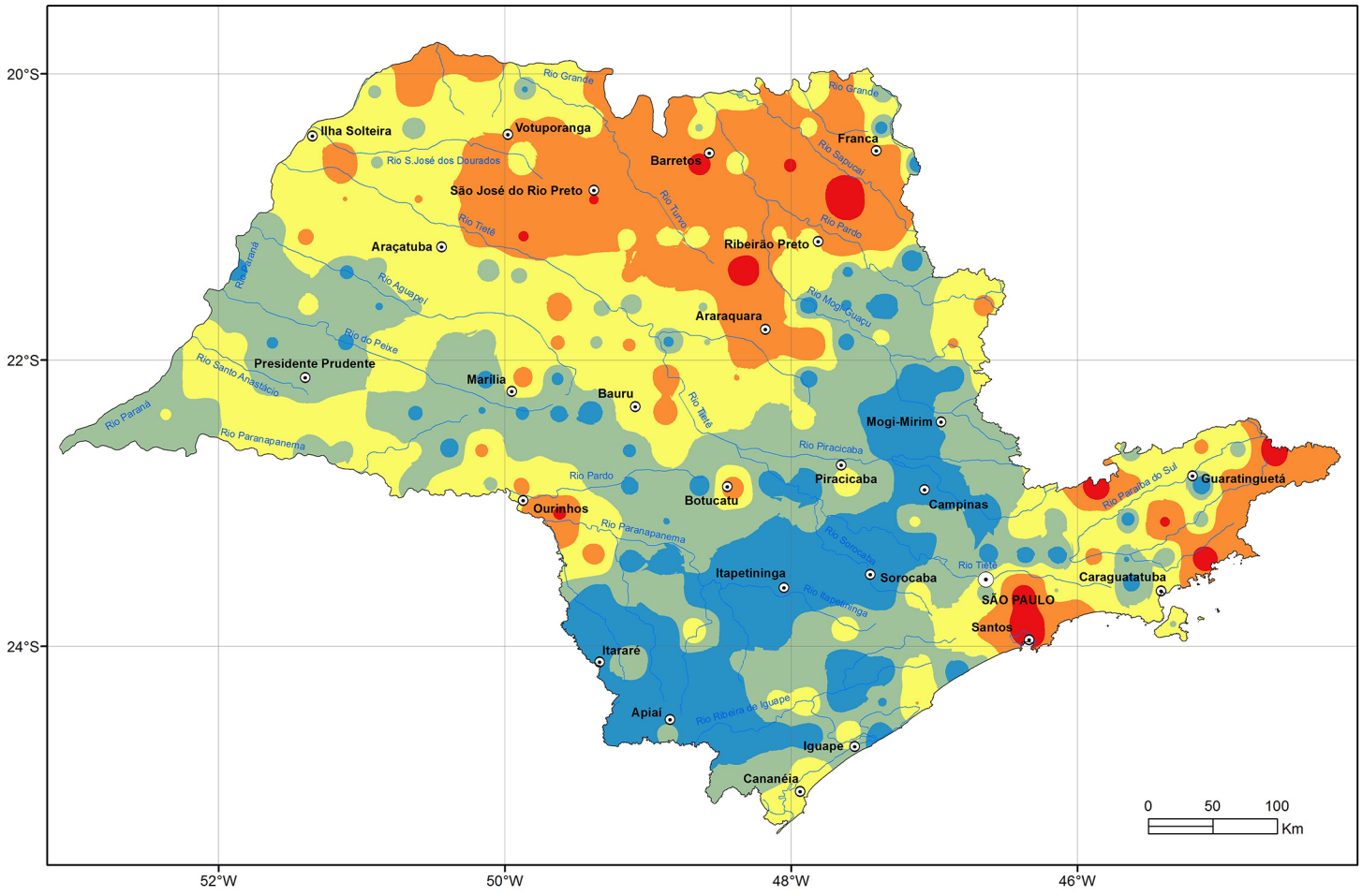




Estatística Descritiva

Elemento	Nb
Limite de detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1422
Valor mínimo	0,09
Valor máximo	33,89
Média	1,48
Mediana	1,01
Variância	5,48
Desvio padrão	2,34
Coeficiente de variação	1,6
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Wedepohl, 1995)	12

Nióbio Nb Solos

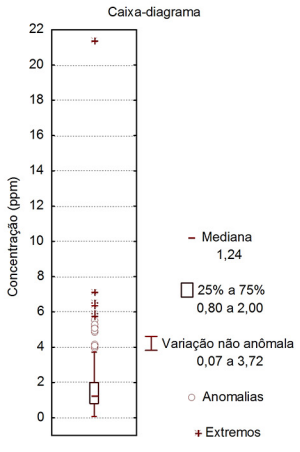


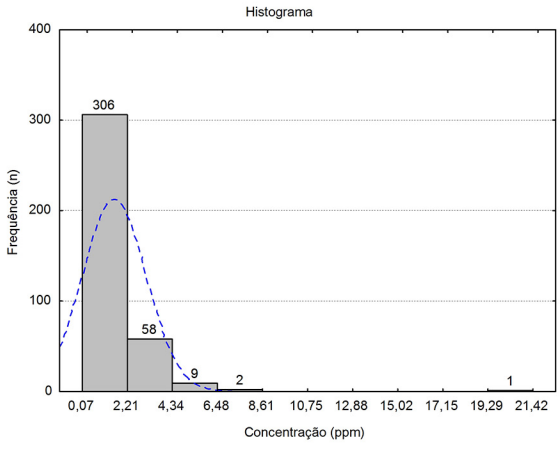
Nióbio (ppm)

- 0,07 a 0,81
- 0,82 a 1,24
- 1,25 a 2,00
- 2,01 a 3,80
- 3,81 a 21,42

Legenda

- Cidade
- Rio

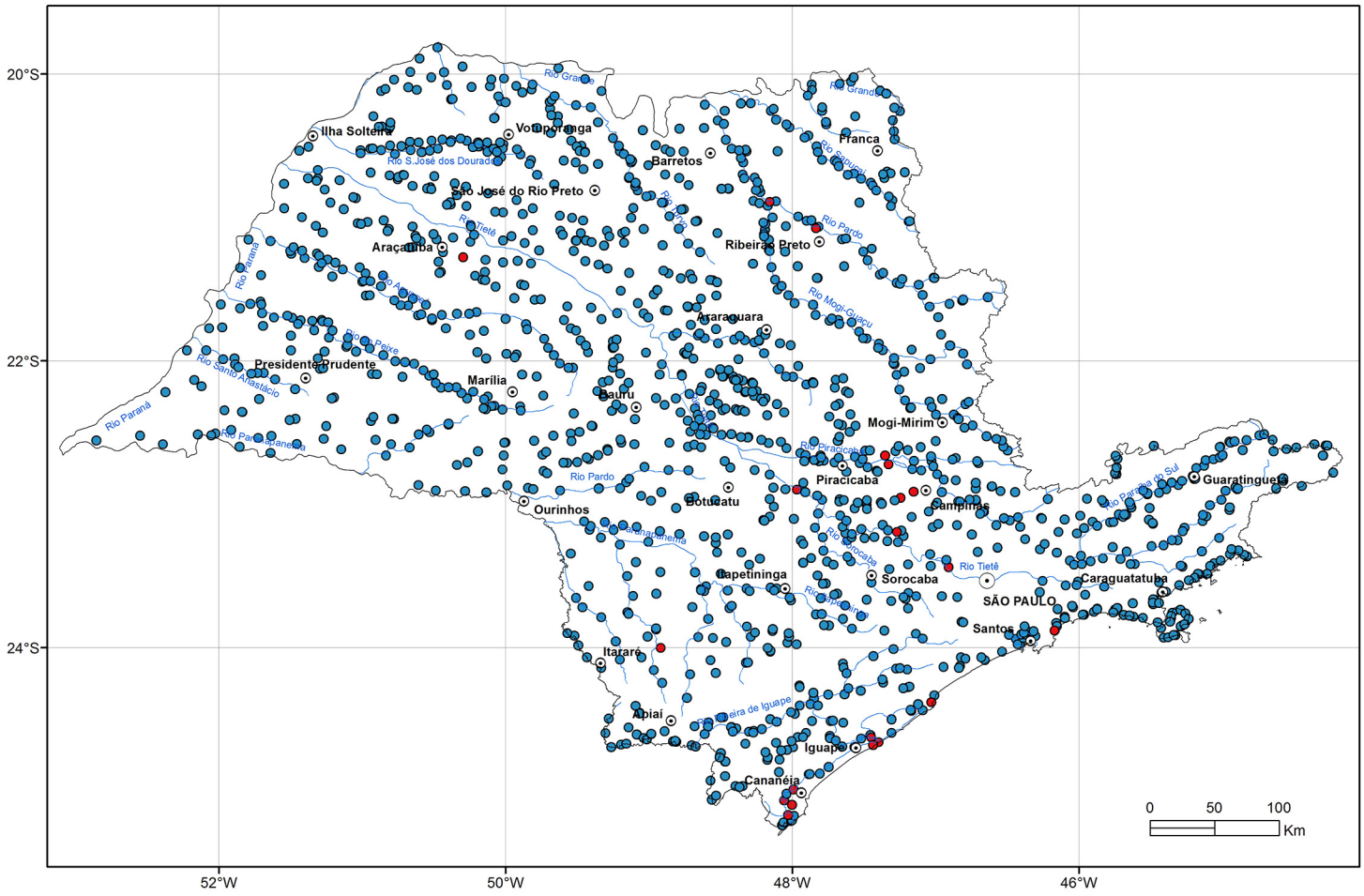




Estatística Descritiva

Elemento	Nb
Limite de Detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	1,24
Valor Mínimo	0,07
Valor Máximo	21,42
Média	1,58
Variância	2,27
Desvio Padrão	1,51
Coeficiente de Variação	1,0
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	12

Níquel Ni Águas



Legenda

Cidade

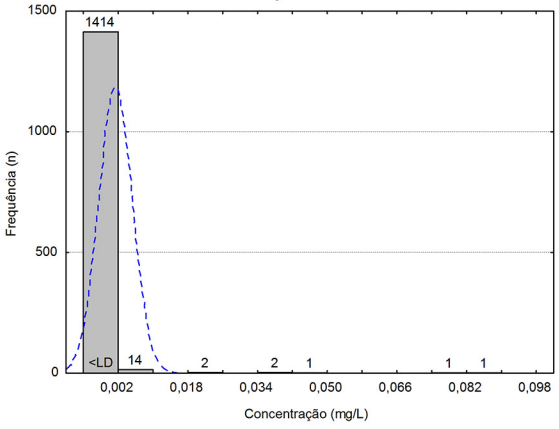
Rio

Níquel (mg/L)

<0,002

0,002 a 0,090

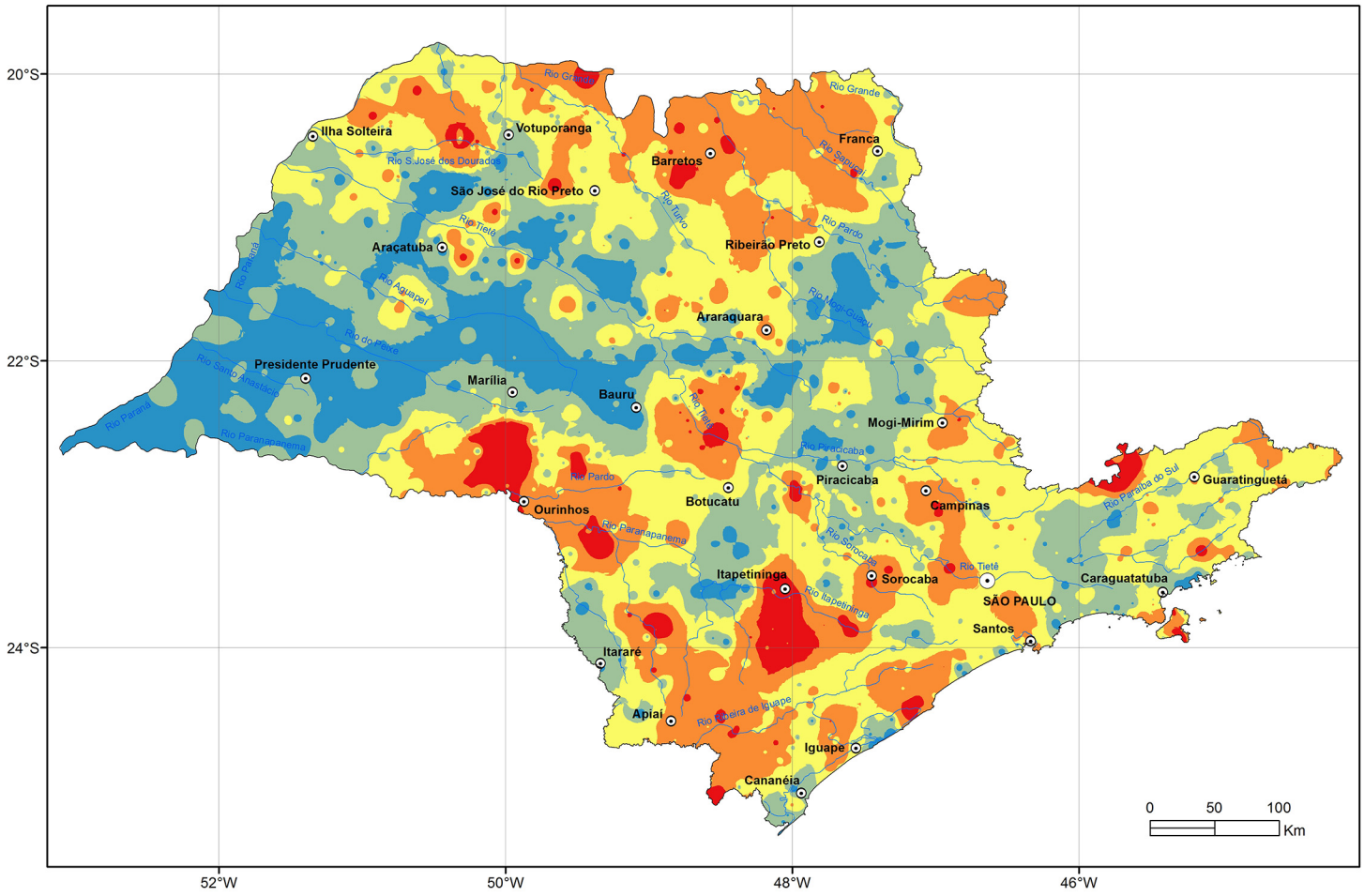
Histograma



Estatística Descritiva

Elemento	Ni
Limite de Detecção (LD)	0,002 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	21
Valor Mínimo	<0,002
Valor Máximo	0,090
Média	<0,002
Mediana	<0,002
Percentil 75	<0,002
Percentil 90	<0,002
Percentil 98	<0,002
Referência internacional (BRASIL, 2005)	0,025
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,052
Referência consumo humano (BRASIL, 2011)	0,07

Níquel Ni Sedimentos

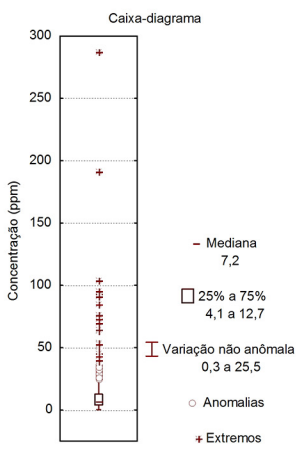


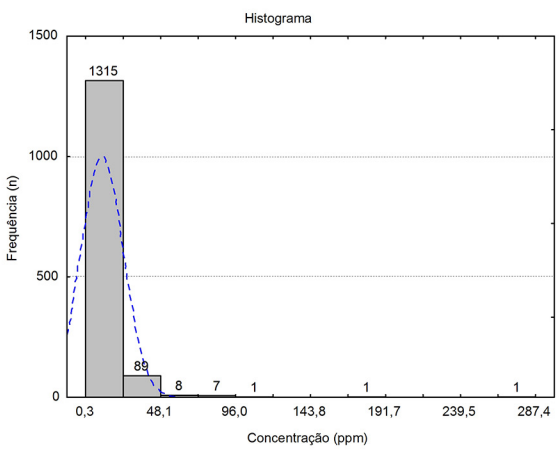
Níquel (ppm)

- <0,5 a 4,1
- 4,2 a 7,2
- 7,3 a 12,7
- 12,8 a 25,6
- 25,7 a 287,4

Legenda

- Cidade
- Rio

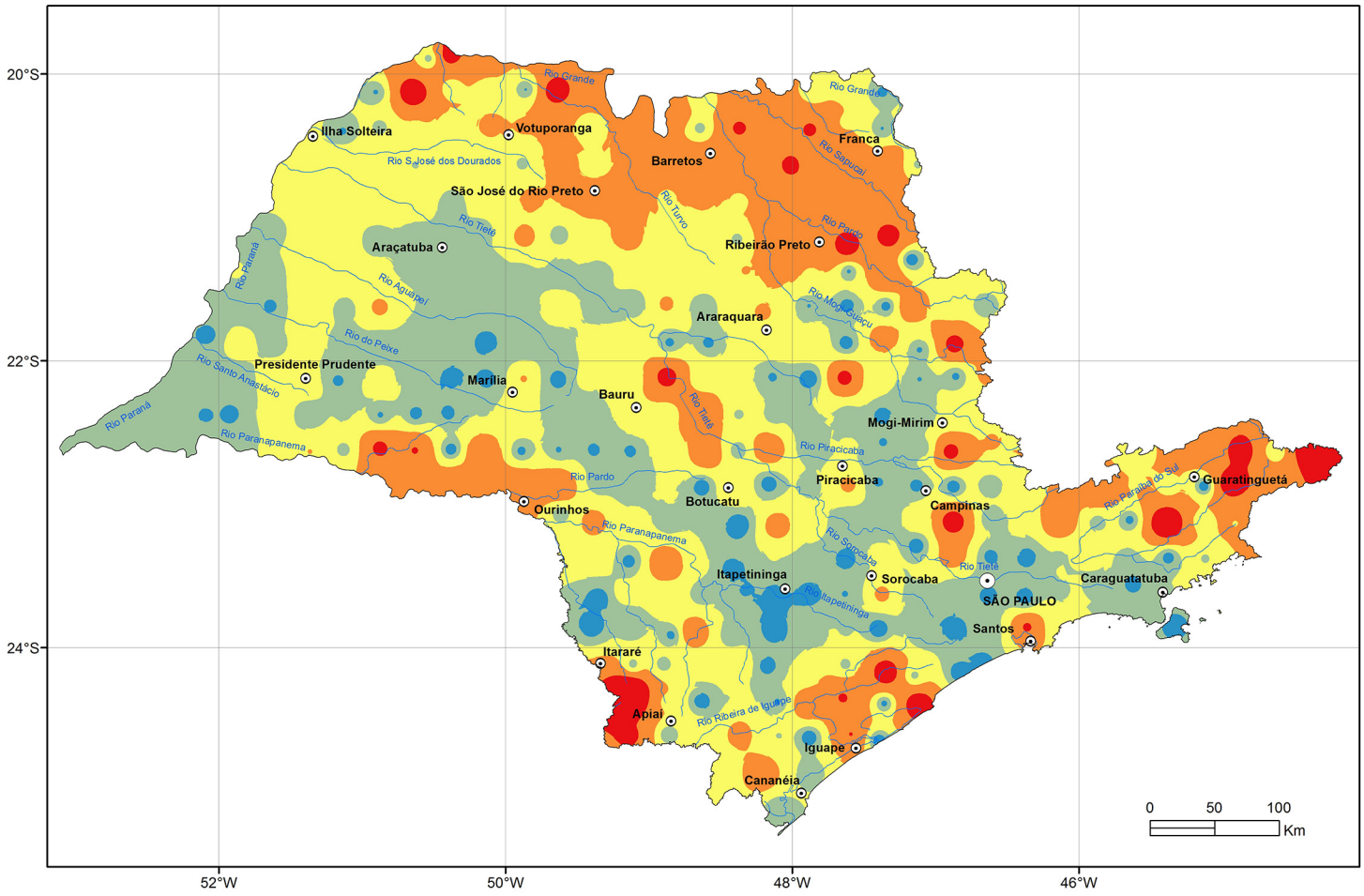




Estatística Descritiva

Elemento	Ni
Limite de detecção (LD)	0,5 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1421
Valor mínimo	<0,5
Valor máximo	287,4
Média	10,6
Mediana	7,2
Variância	184,0
Desvio padrão	13,6
Coeficiente de variação	1,28
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	47

Níquel Ni Solos

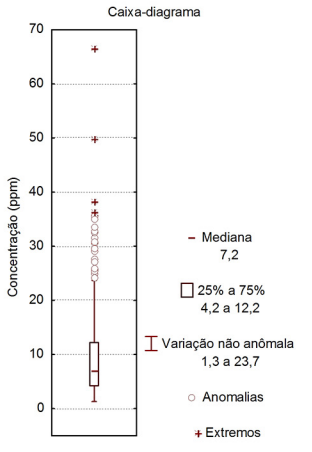


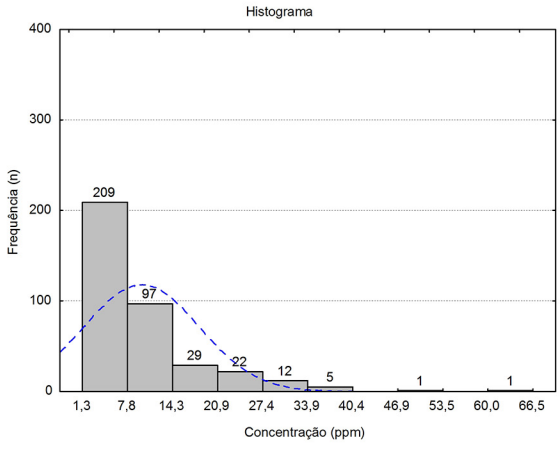
Níquel (ppm)

- 1,3 a 4,2
- 4,3 a 7,2
- 7,3 a 12,2
- 12,3 a 24,2
- 24,3 a 66,5

Legenda

- Cidade
- Rio



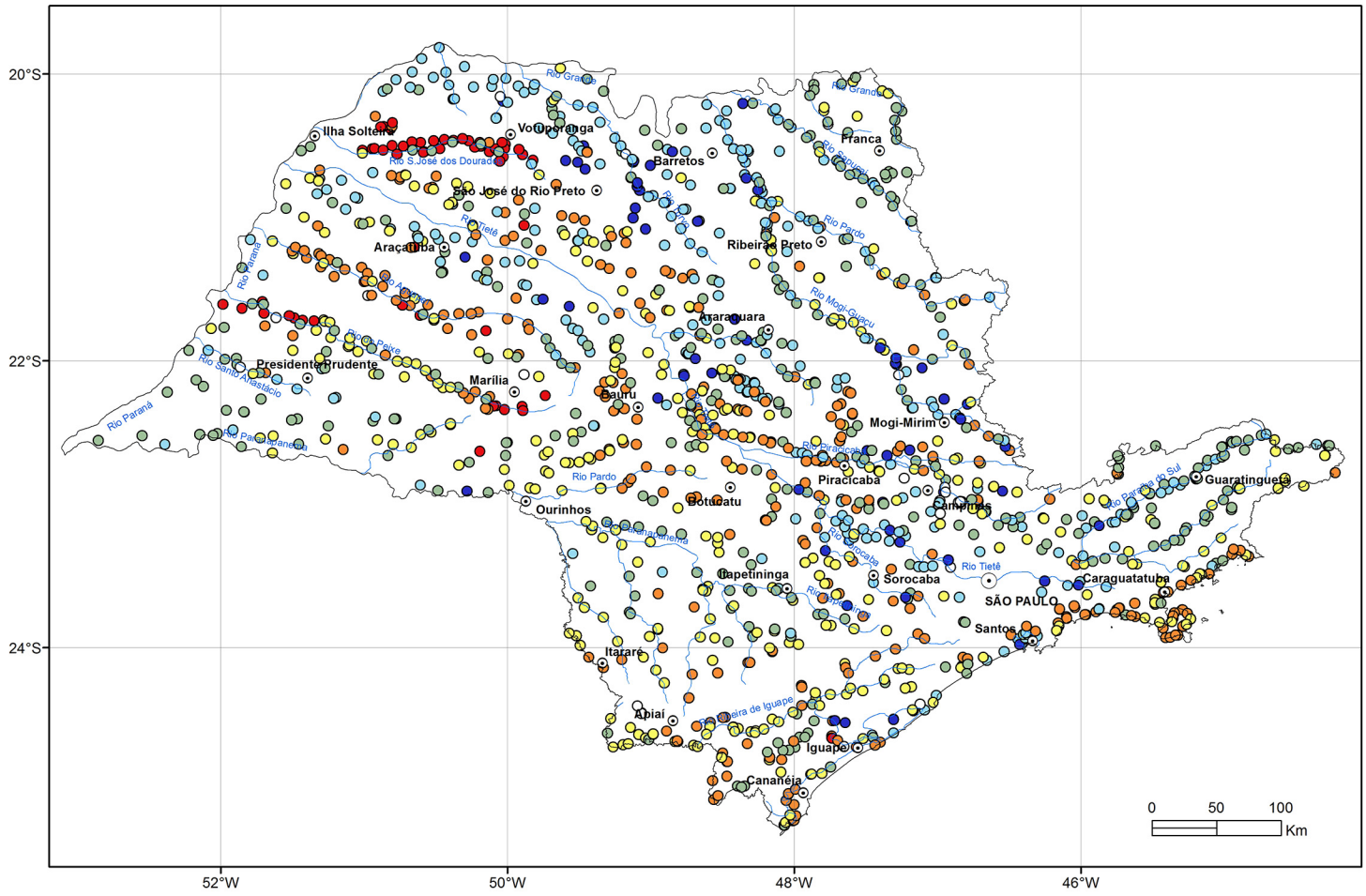


Estatística Descritiva

Elemento	Ni
Limite de Detecção (LD)	0,5 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	7,2
Valor Mínimo	1,3
Valor Máximo	66,5
Média	9,8
Variância	68,8
Desvio Padrão	8,3
Coeficiente de Variação	0,8
Referência nacional (CETESB, 2014)	30
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,26
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	47

Oxigênio Dissolvido - OD

Águas

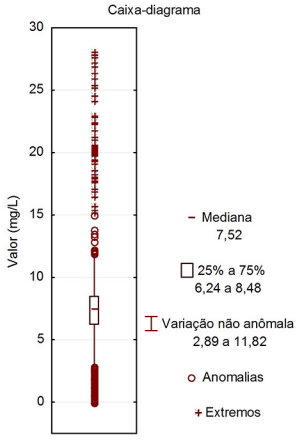


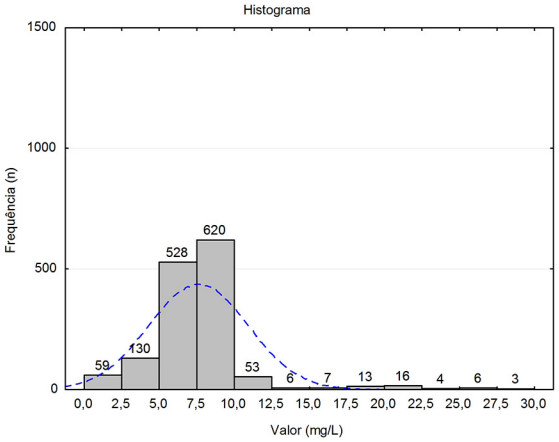
OD

- sem análise
- 0,00 a 2,88
- 2,89 a 6,24
- 6,25 a 7,52
- 7,53 a 8,48
- 8,49 a 11,84
- 11,85 a 28,06

Legenda

- Cidade
- Rio

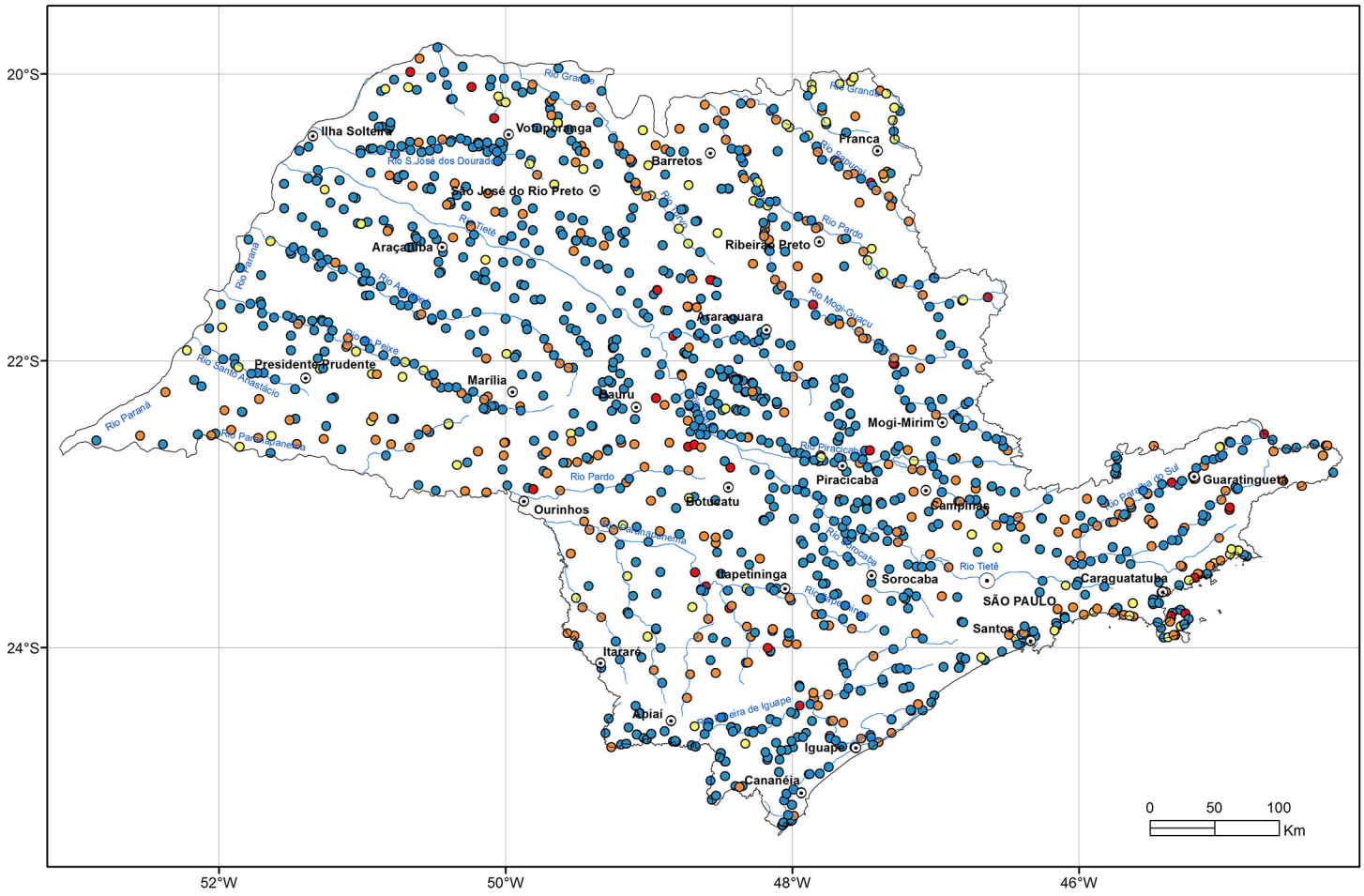




Estatística Descritiva

Parâmetro	OD
Intervalo de medida	0 a 90 mg/L
Resolução	0,01
Número de medidas	1445
Valor Mínimo	0,00
Valor Máximo	28,06
Média	7,57
Mediana	7,52
Variância	10,90
Desvio Padrão	3,30
Coeficiente de Variação	0,4
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência consumo humano	-

Fosfato PO_4^{3-} Águas

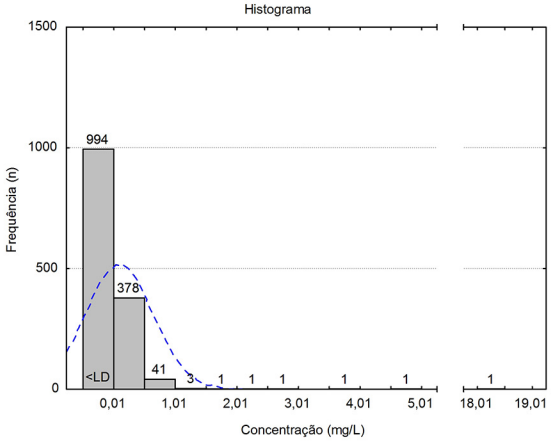


Legenda

- Cidade
- Rio

Fosfato (mg/L)

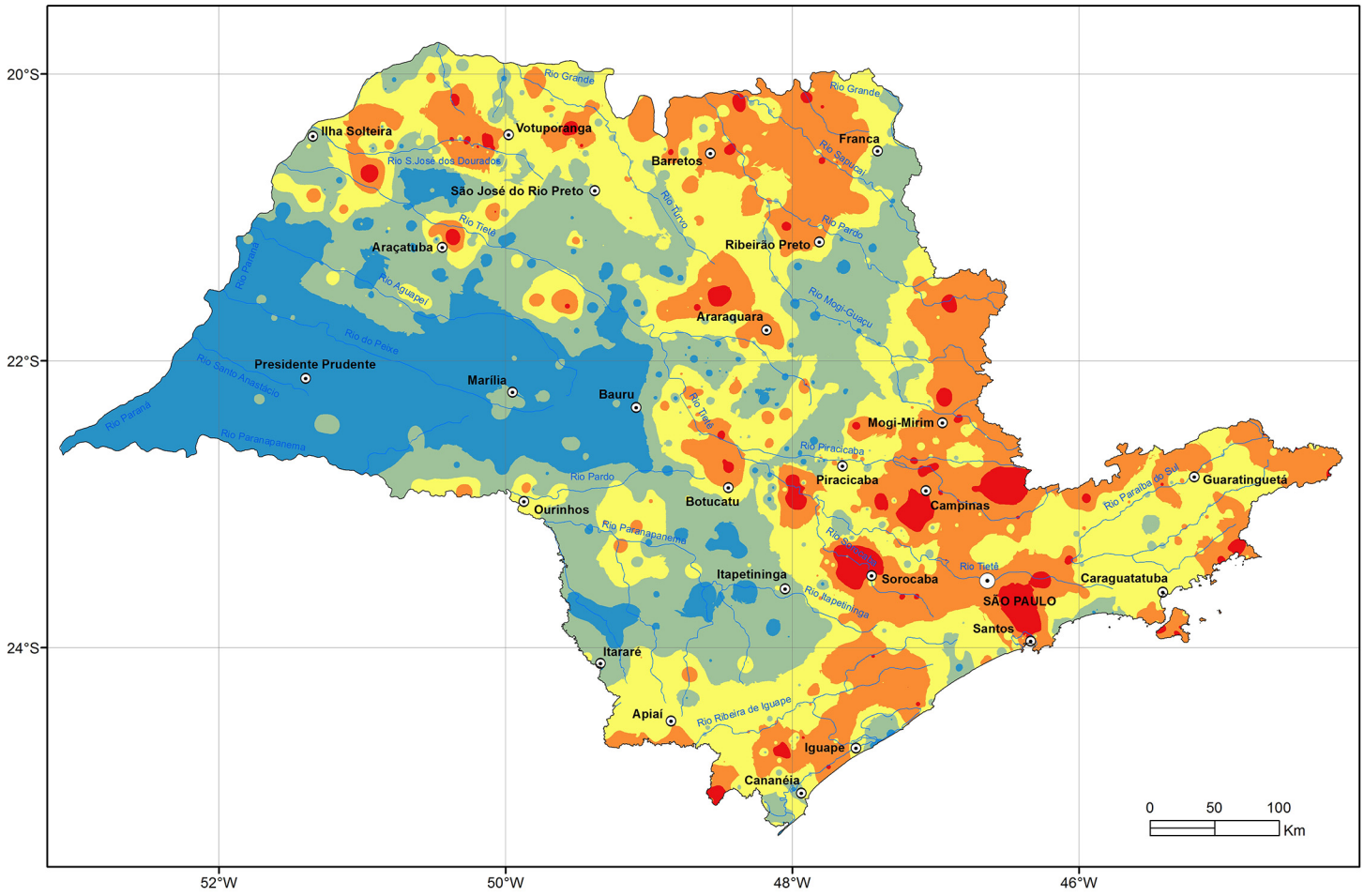
- **<0,01**
- **0,01 a 0,06**
- **0,07 a 0,60**
- **0,61 a 18,50**



Estatística Descritiva

Elemento	PO_4^{3-}
Limite de Detecção (LD)	0,01 (mg/L)
Número de medidas	1422
Resultos > LD	428
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	18,50
Média	0,09
Mediana	<0,01
Percentil 75	0,06
Percentil 90	0,24
Percentil 98	0,60
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência consumo humano	-

Fósforo P Sedimentos

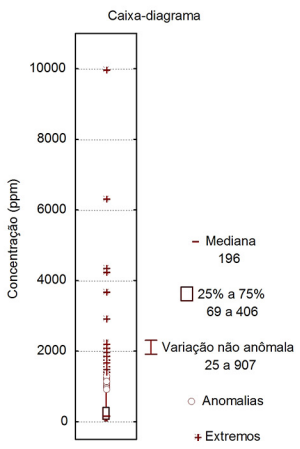


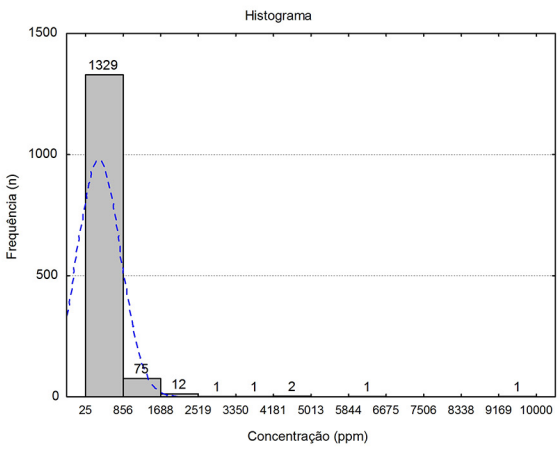
Fósforo (ppm)

- <50 a 69
- 70 a 196
- 197 a 406
- 407 a 911
- 912 a >10.000

Legenda

- Cidade
- Rio

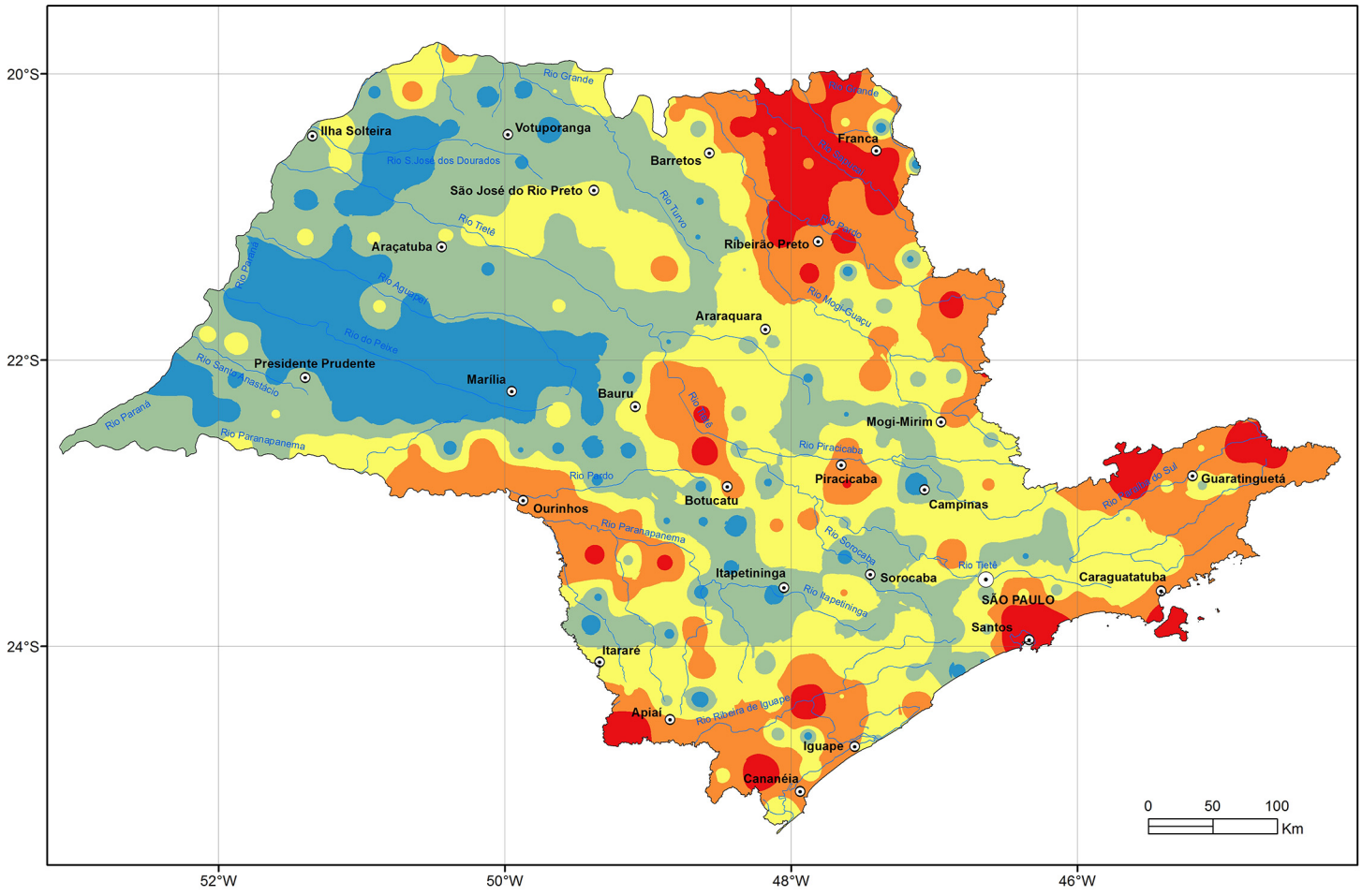




Estatística Descritiva

Elemento	P
Limite de detecção (LD)	50 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1150
Valor mínimo	<50
Valor máximo	>10.000
Média	316
Mediana	196
Variância	232.048
Desvio padrão	482
Coeficiente de variação	1,5
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Wedepohl, 1995)	665

Fósforo P Solos

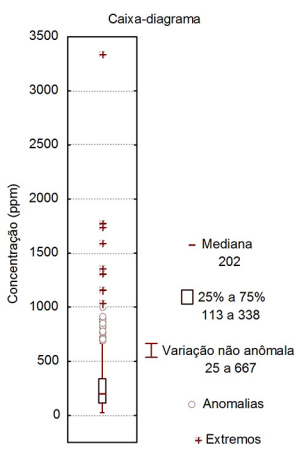


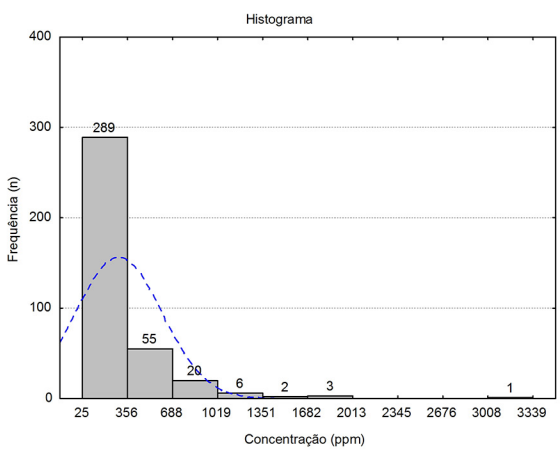
Fósforo (ppm)

- <50 a 113
- 114 a 202
- 203 a 338
- 339 a 676
- 677 a 3.339

Legenda

- Cidade
- Rio

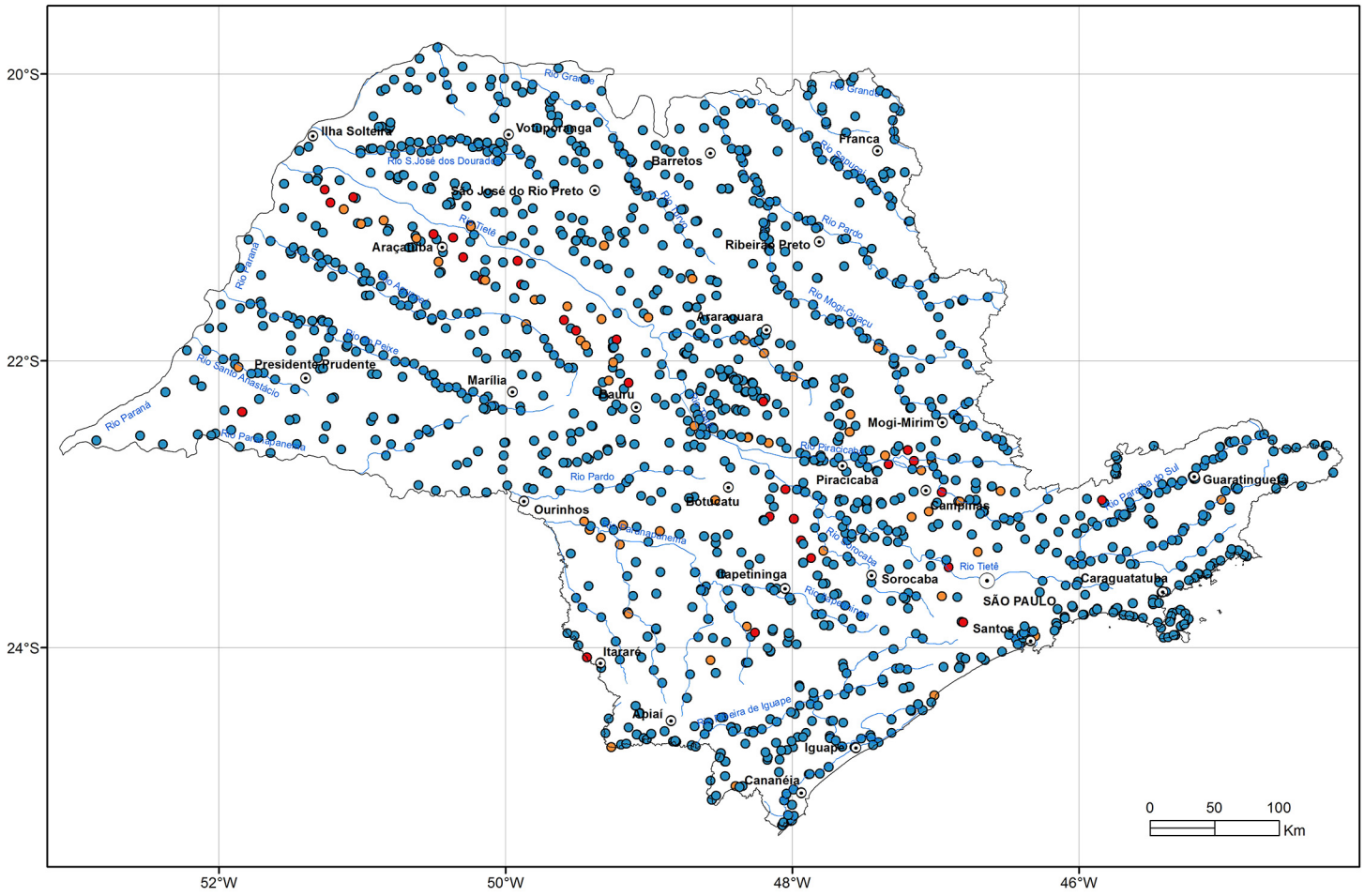




Estatística Descritiva

Elemento	P
Limite de Detecção (LD)	50 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	366
Mediana	202
Valor Mínimo	<50
Valor Máximo	3.339
Média	291
Variância	100.897
Desvio Padrão	318
Coeficiente de Variação	1,1
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	665

Chumbo Pb Águas



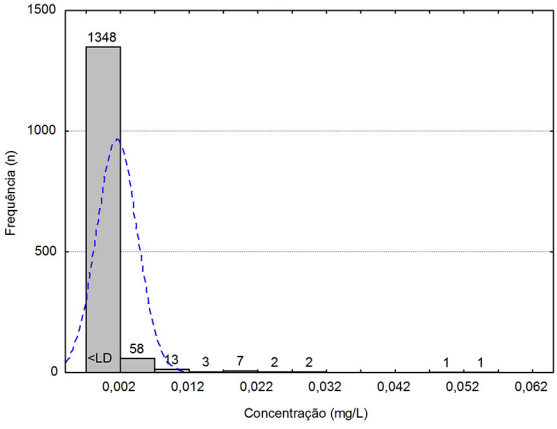
Legenda

- Cidade
- Rio

Chumbo (mg/L)

- **<0,002**
- **0,002 a 0,007**
- **0,008 a 0,057**

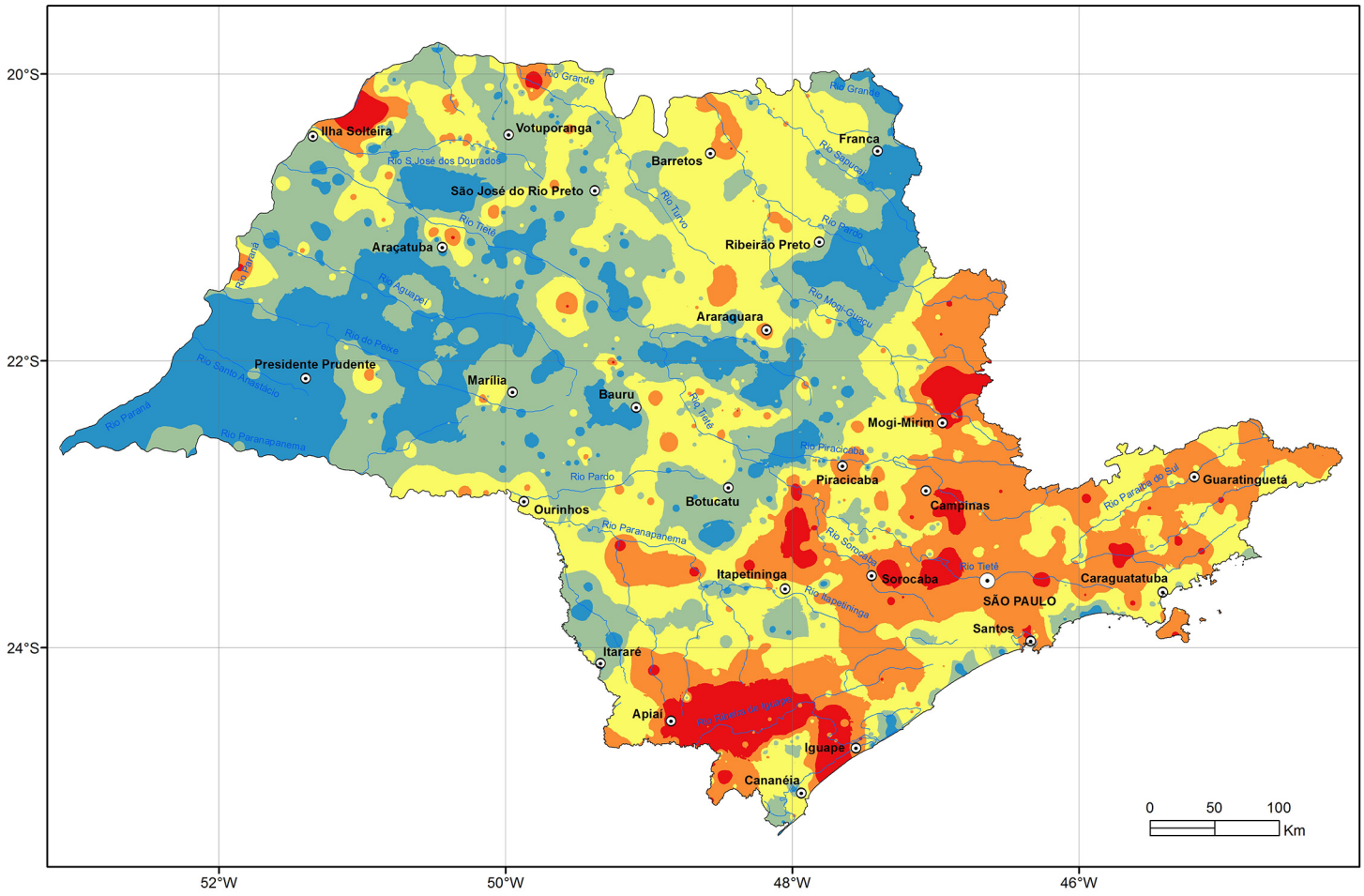
Histograma



Estatística Descritiva

Elemento	Pb
Limite de Detecção (LD)	0,002 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	87
Valor Mínimo	<0,002
Valor Máximo	0,057
Média	<0,002
Mediana	<0,002
Percentil 75	<0,002
Percentil 90	<0,002
Percentil 98	0,007
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,01
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,0025
Referência consumo humano (BRASIL, 2011)	0,01

Chumbo Pb Sedimentos

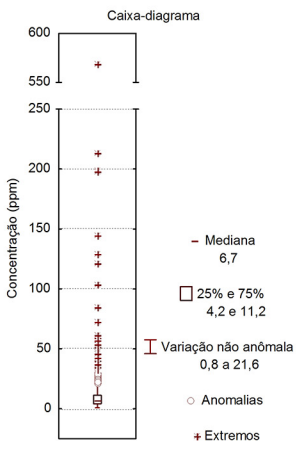


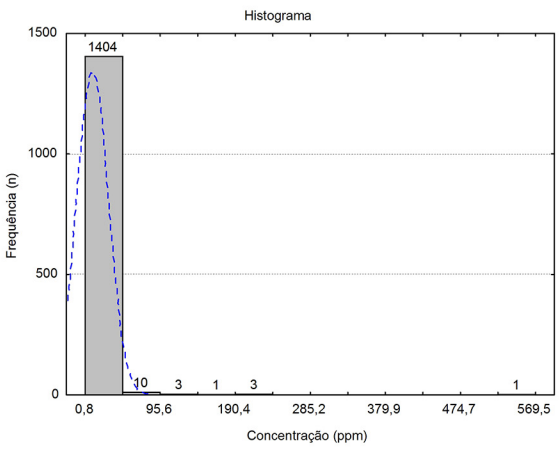
Chumbo (ppm)

- 0,8 a 4,2
- 4,3 a 6,7
- 6,8 a 11,2
- 11,3 a 21,7
- 21,8 a 569,5

Legenda

- Cidade
- Rio

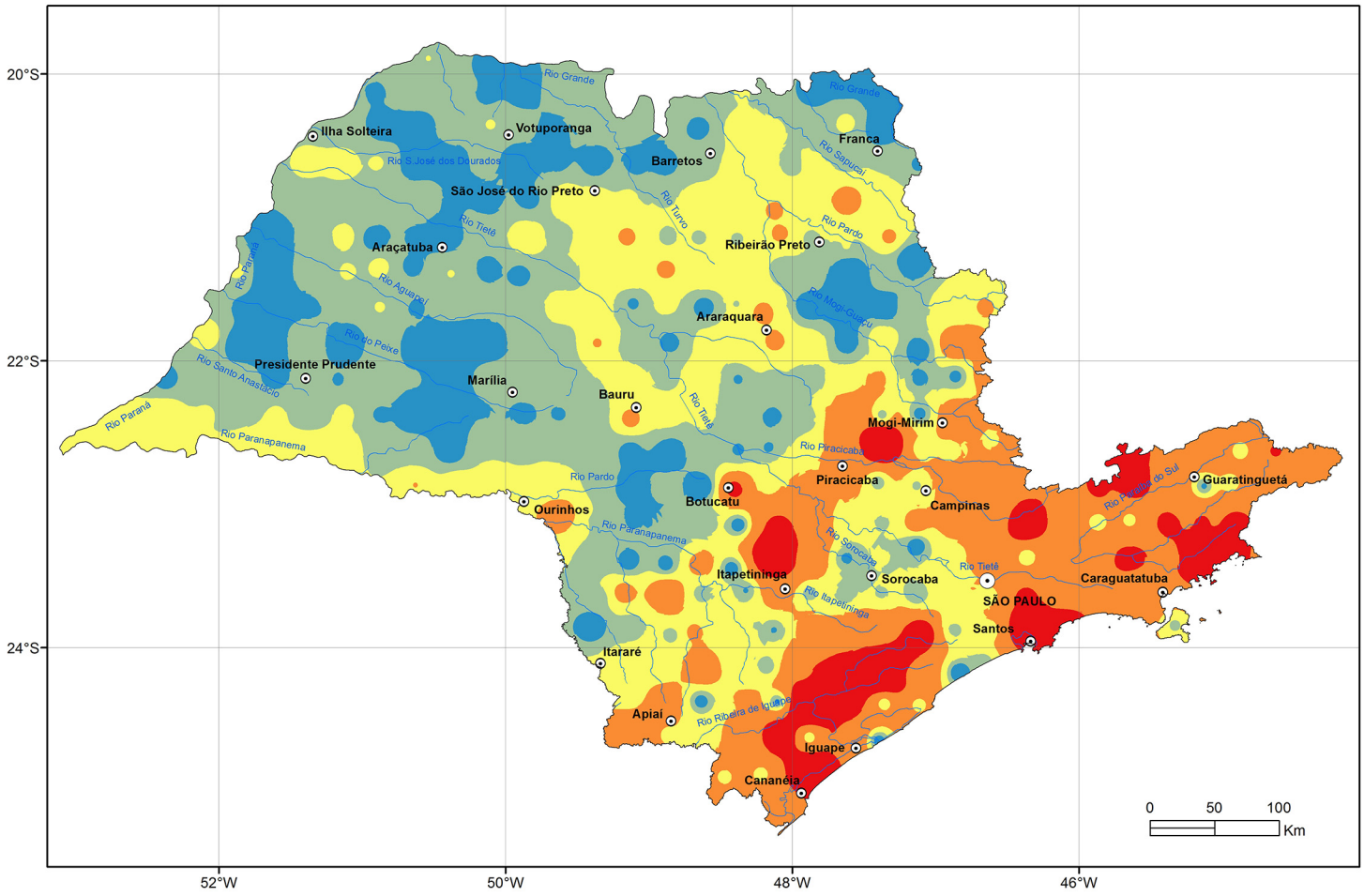




Estatística Descritiva

Elemento	Pb
Limite de detecção (LD)	0,2 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1422
Valor mínimo	0,8
Valor máximo	569,5
Média	10,0
Mediana	6,7
Variância	400,1
Desvio padrão	20,0
Coeficiente de variação	2,0
Referência nacional (BRASIL, 2012)	35
Referência internacional (Buchman, 2008)	35
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	17

Chumbo Pb Solos

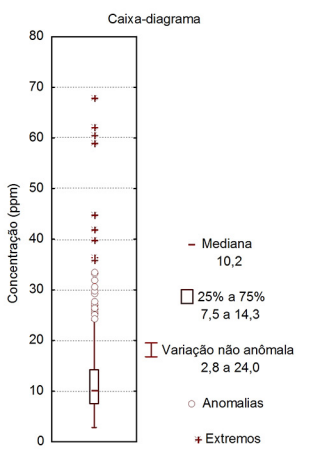


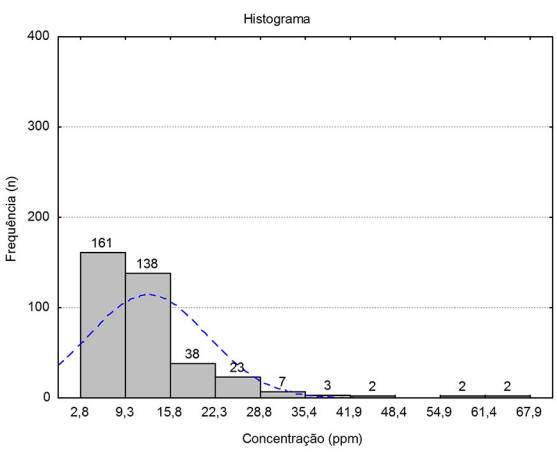
Chumbo (ppm)

- 2,8 a 7,5
- 7,6 a 10,2
- 10,3 a 14,3
- 14,4 a 24,5
- 24,6 a 67,9

Legenda

- Cidade
- Rio

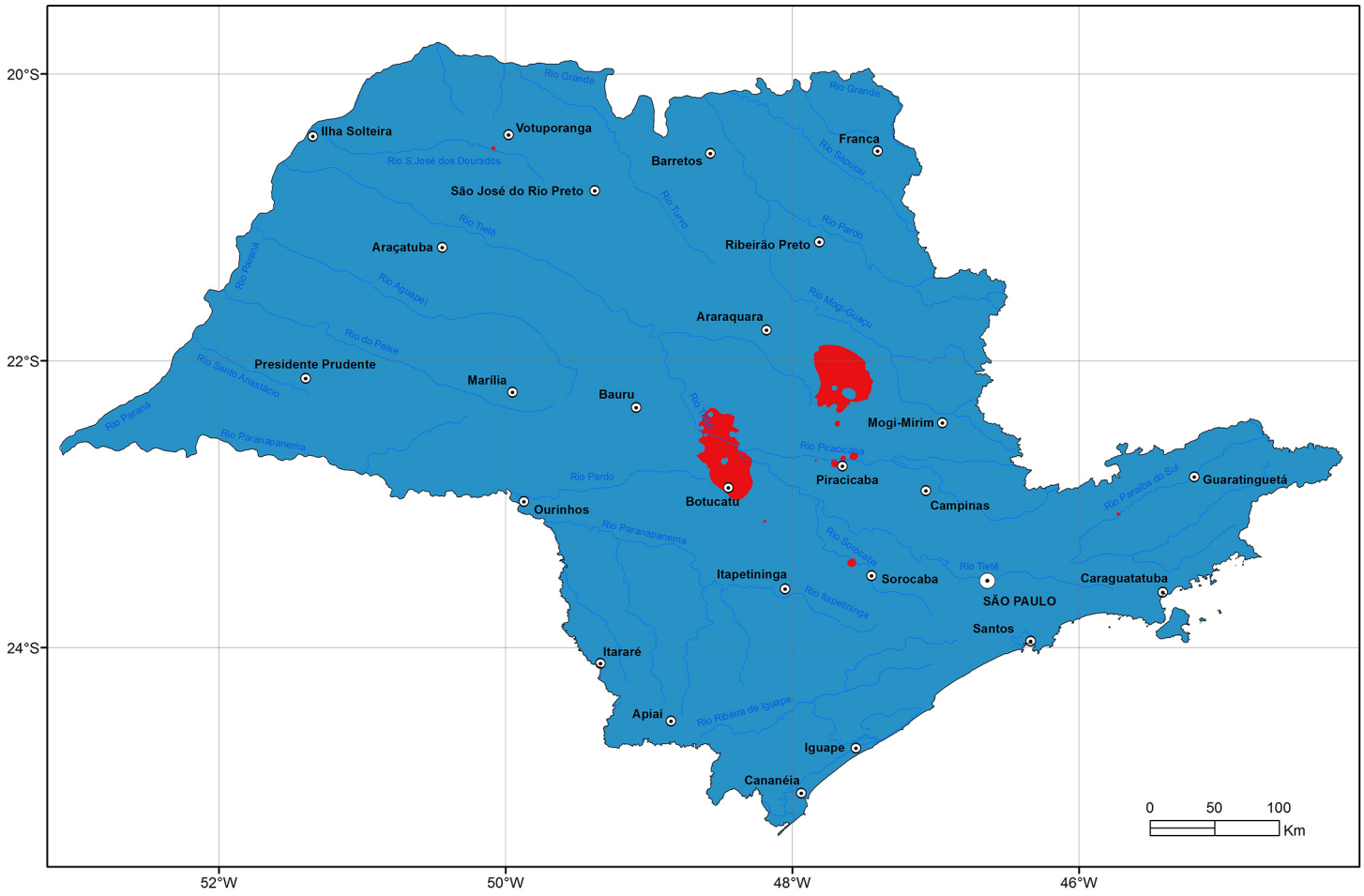




Estatística Descritiva

Elemento	Pb
Limite de Detecção (LD)	0,2 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	10,2
Valor Mínimo	2,8
Valor Máximo	67,9
Média	12,5
Variância	73,0
Desvio Padrão	8,5
Coeficiente de Variação	0,7
Referência nacional (CETESB, 2014)	72
Referência internacional (Buchman, 2008)	55
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	17

Paládio Pd Sedimentos



Legenda

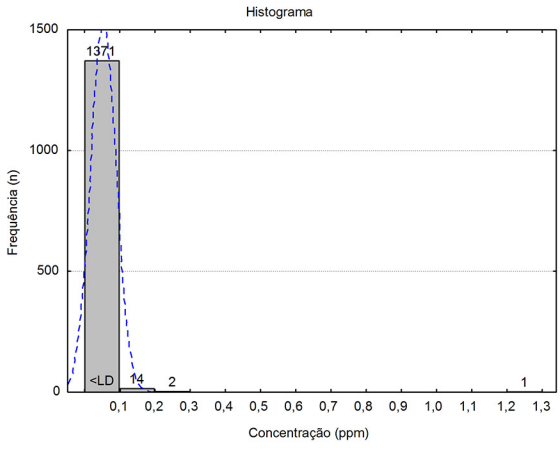
Cidade

Rio

Paládio (ppm)

<0,1

0,1 a 1,3

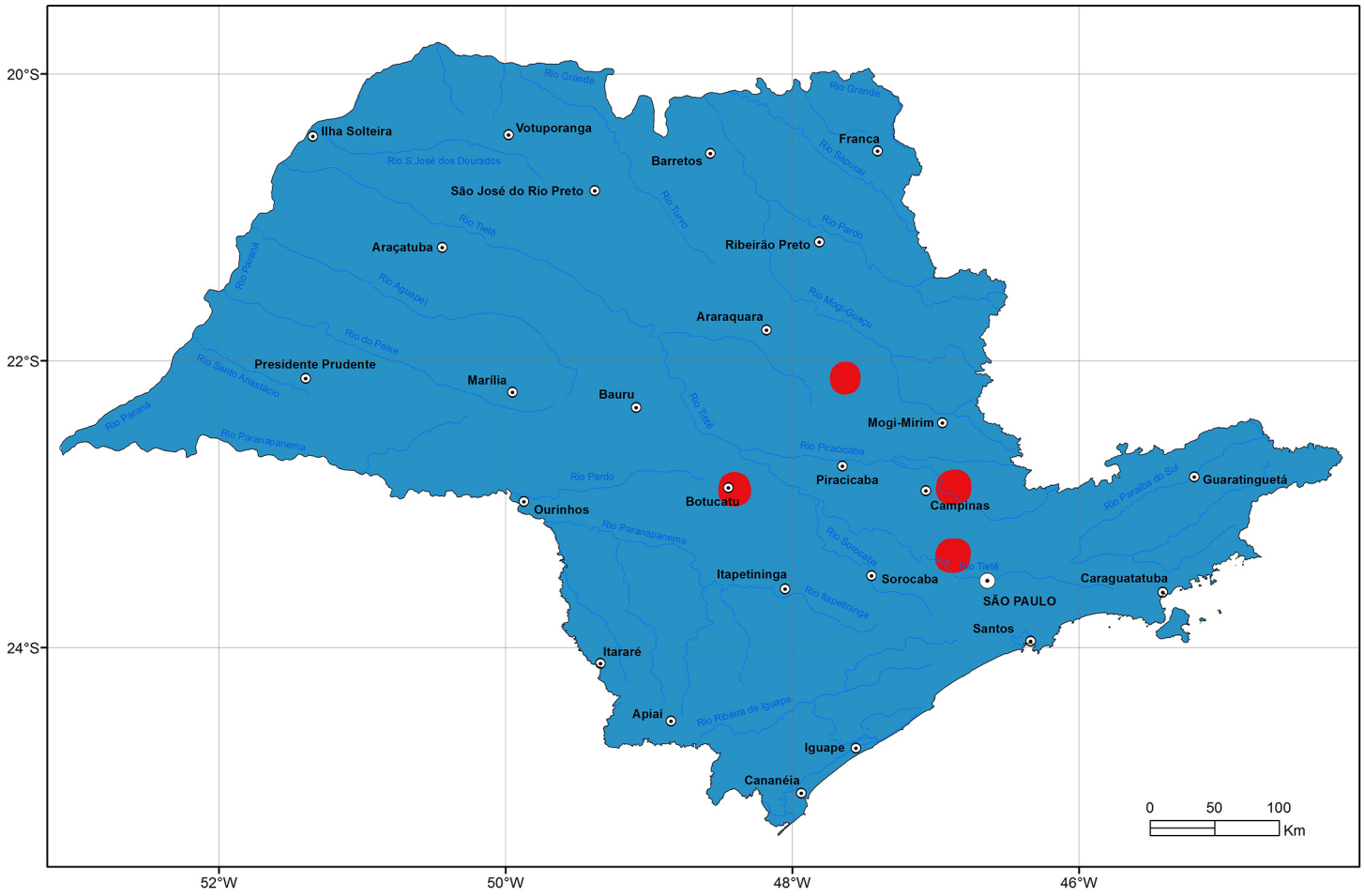


Estatística Descritiva

Elemento	Pd
Limite de detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	17
Valor mínimo	<0,1
Valor máximo	1,3
Média	<0,1
Mediana	<0,1
Percentil 75	<0,1
Percentil 90	<0,1
Percentil 98	<0,1
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	0,00052

Paládio Pd

Solos



Legenda

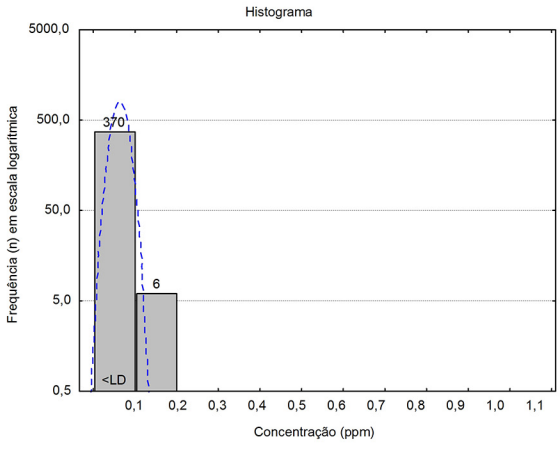
Cidade

Rio

Paládio (ppm)

<0,1

0,1 a 0,2

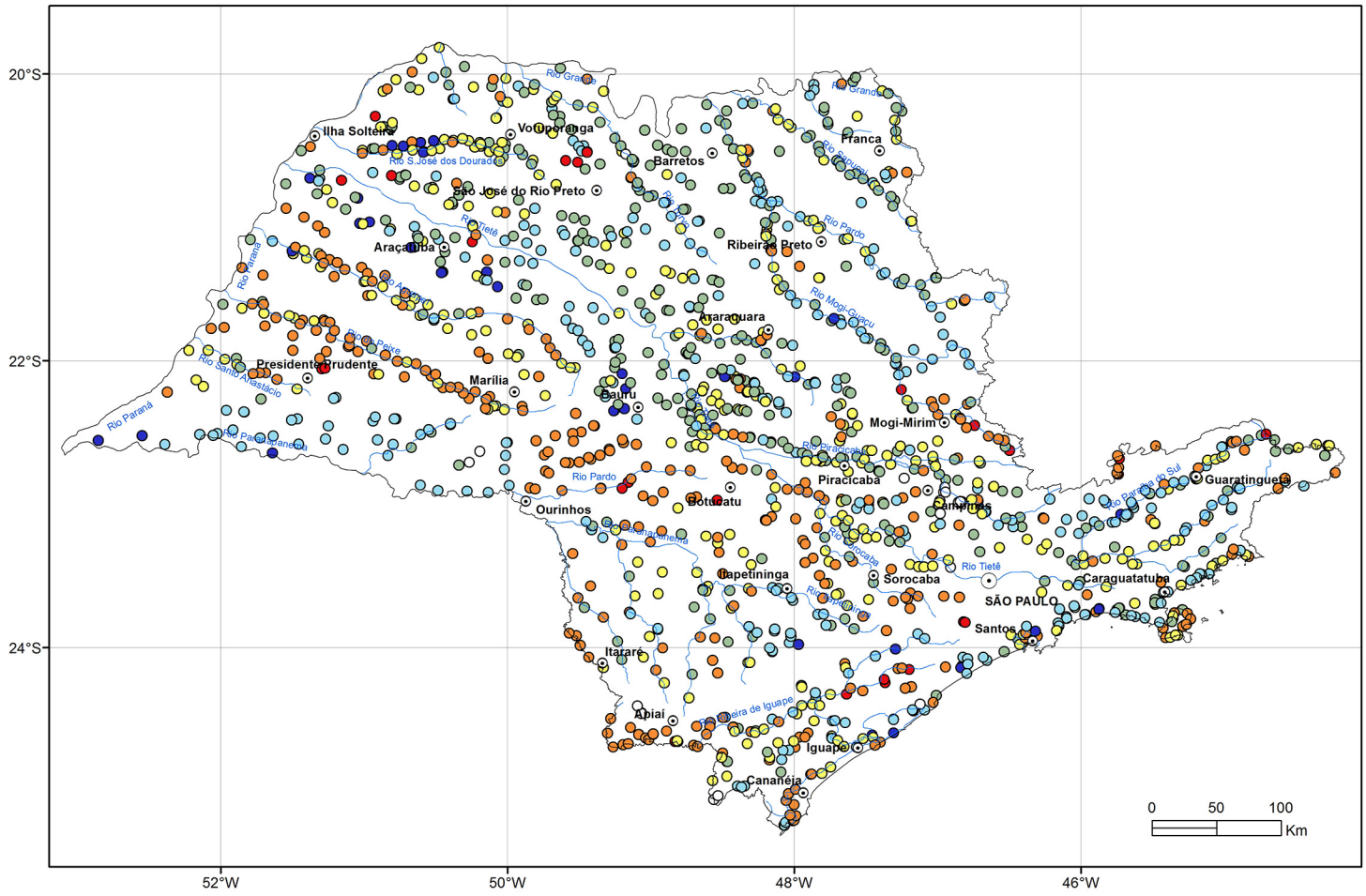


Estatística Descritiva

Elemento	Pd
Limite de Detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	6
Valor Mínimo	<0,1
Valor Máximo	0,2
Média	<0,1
Mediana	<0,1
Percentil 75	<0,1
Percentil 90	<0,1
Percentil 98	<0,1
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao,2003)	0,00052

Potencial Hidrogeniônico - pH

Águas

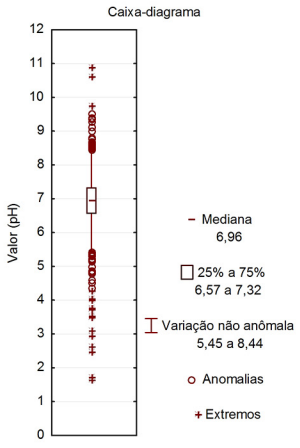


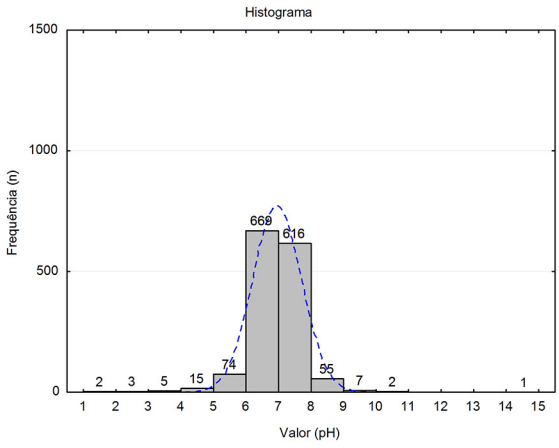
pH

- sem análise
- 1,66 a 5,45
- 5,46 a 6,57
- 6,58 a 6,96
- 6,97 a 7,32
- 7,33 a 8,45
- 8,46 a 14,52

Legenda

- Cidade
- Rio

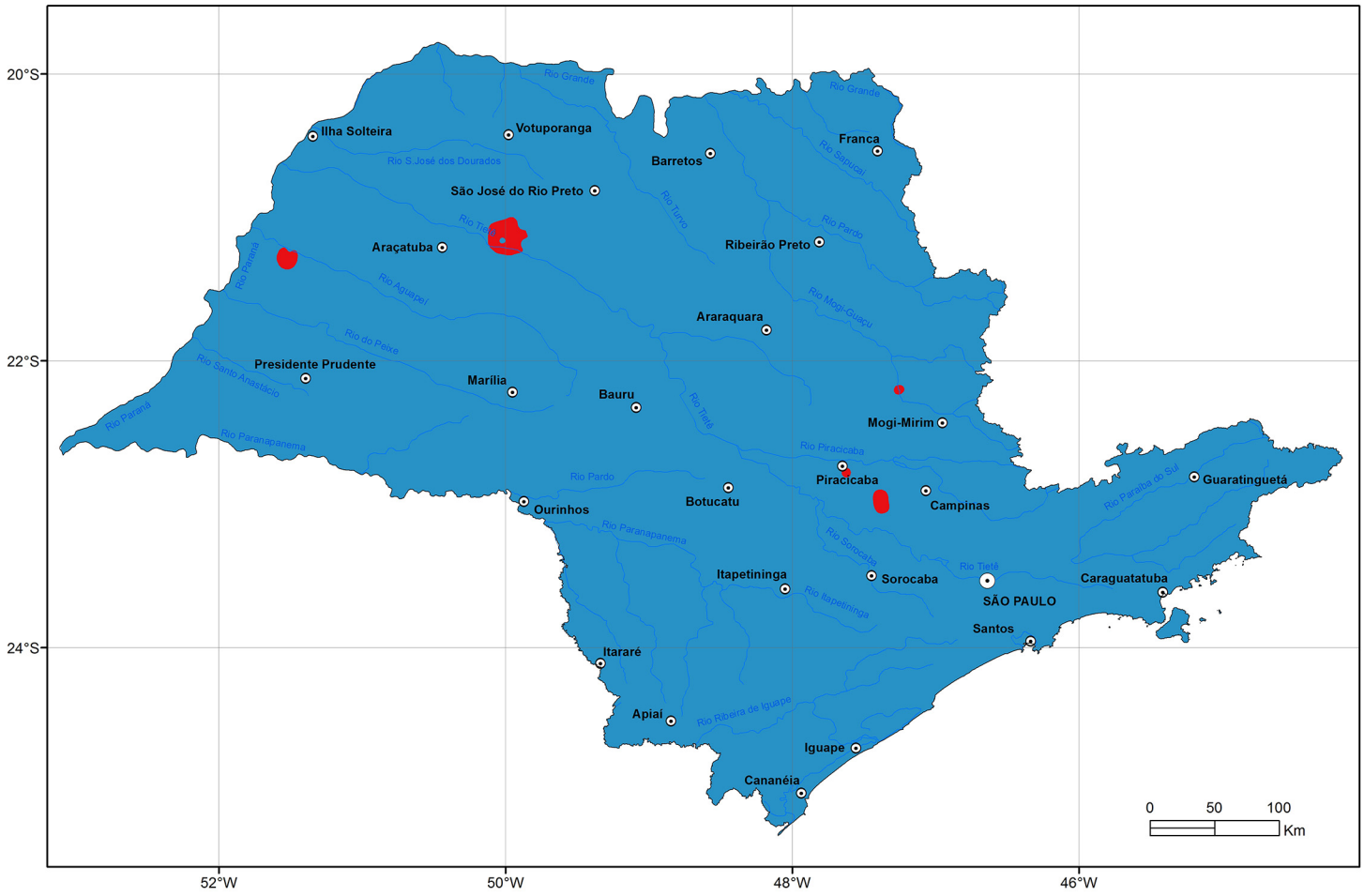




Estatística Descritiva

Parâmetro	pH
Intervalo de medida	-2 a 20
Resolução	0,01
Número de medidas	1449
Valor Mínimo	1,66
Valor Máximo	14,52
Média	6,93
Mediana	6,96
Variância	0,60
Desvio Padrão	0,77
Coeficiente de Variação	0,11
Referência nacional (BRASIL, 2005)	6 a 9
Referência internacional (CCME, 1987)	6,5 a 9,0
Referência consumo humano	-

Platina Pt Sedimentos



Legenda

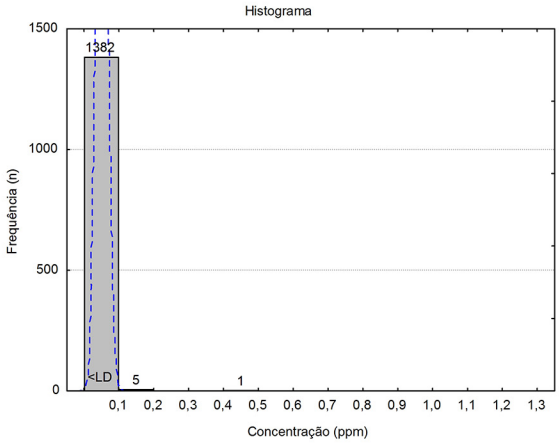
Cidade

Rio

Platina (ppm)

<0,1

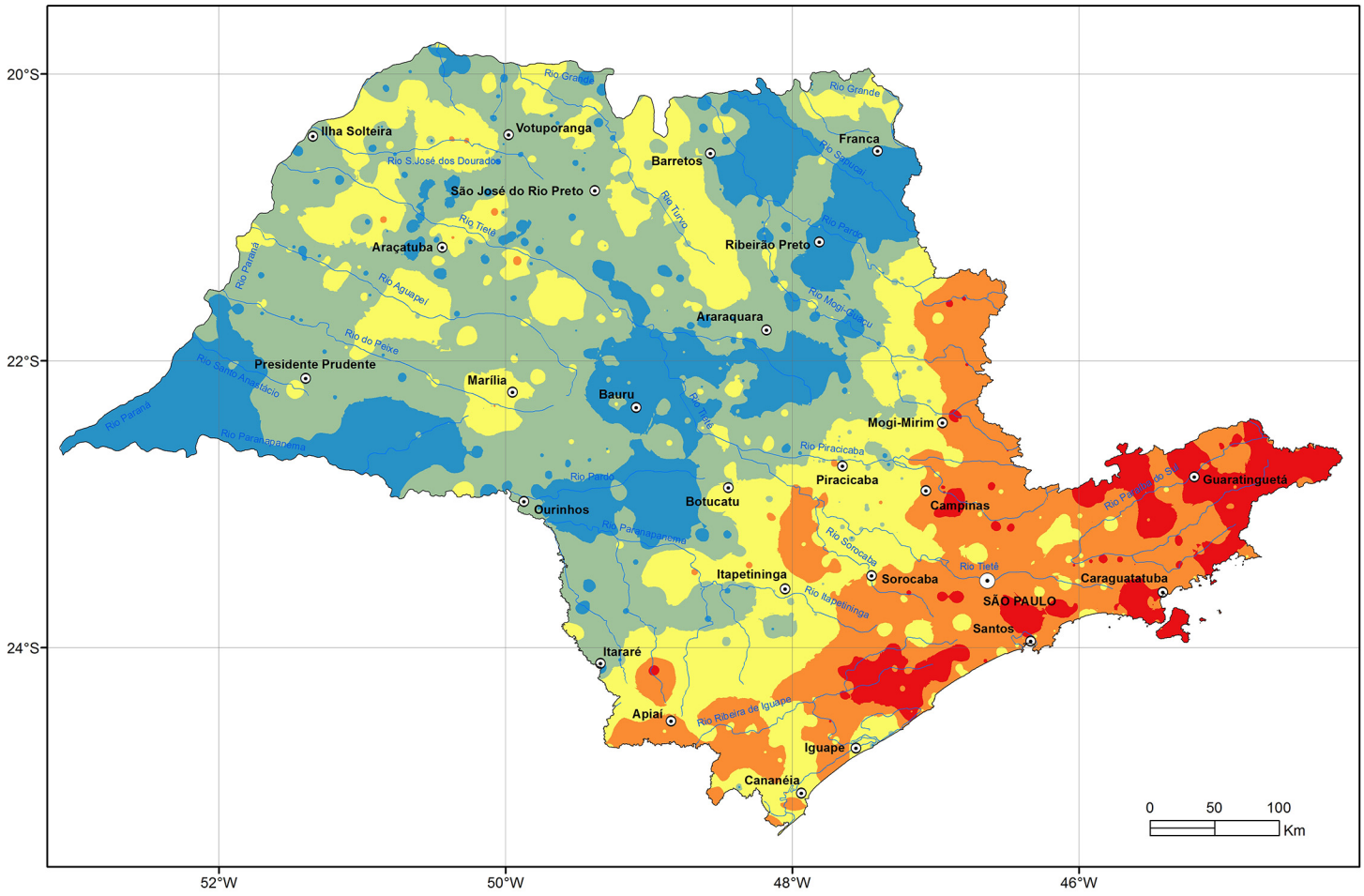
0,1 a 0,5



Estatística Descritiva

Elemento	Pt
Limite de detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	6,0
Valor mínimo	<0,1
Valor máximo	0,5
Média	<0,1
Mediana	<0,1
Percentil 75	<0,1
Percentil 90	<0,1
Percentil 98	<0,1
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	0,0005

Rubídio Rb Sedimentos

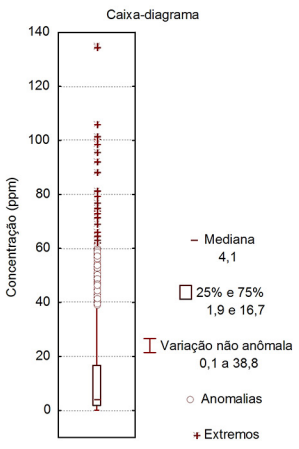


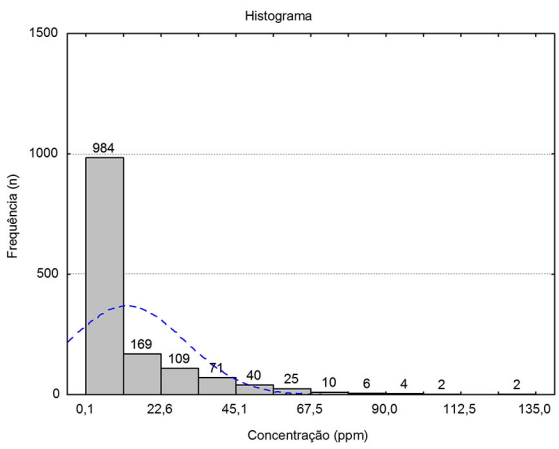
Rubídio (ppm)

- 0,1 a 1,9
- 2,0 a 4,1
- 4,2 a 16,7
- 16,8 a 38,9
- 39,0 a 135,0

Legenda

- Cidade
- Rio

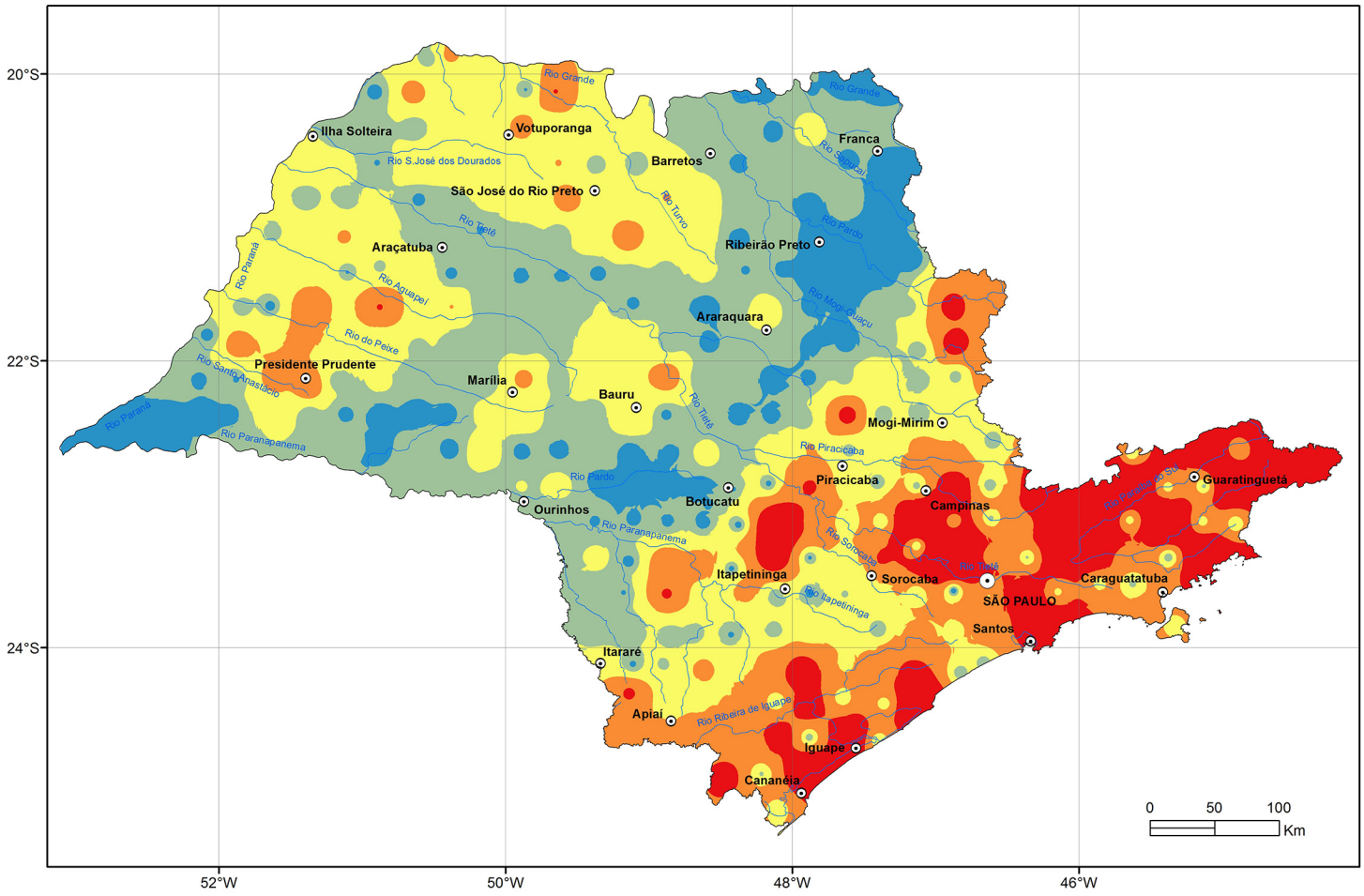




Estatística Descritiva

Elemento	Rb
Limite de detecção (LD)	0,2 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1419
Valor mínimo	<0,2
Valor máximo	135,0
Média	12,3
Mediana	4,1
Variância	298,9
Desvio padrão	17,3
Coeficiente de variação	1,41
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	84

Rubídio Rb Solos

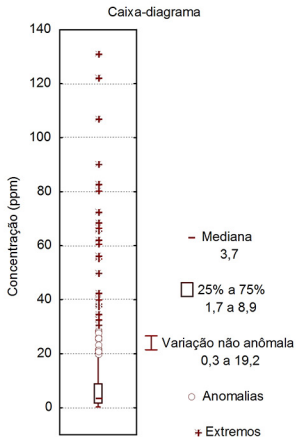


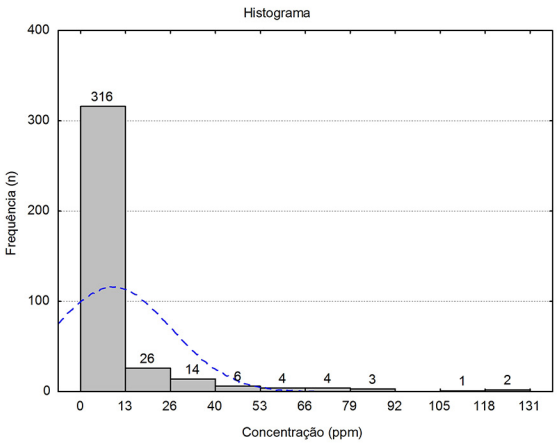
Legenda

- Cidade
- Rio

Rubídio (ppm)

- 0,3 a 1,7
- 1,8 a 3,7
- 3,8 a 8,9
- 9,0 a 19,7
- 19,8 a 131,1

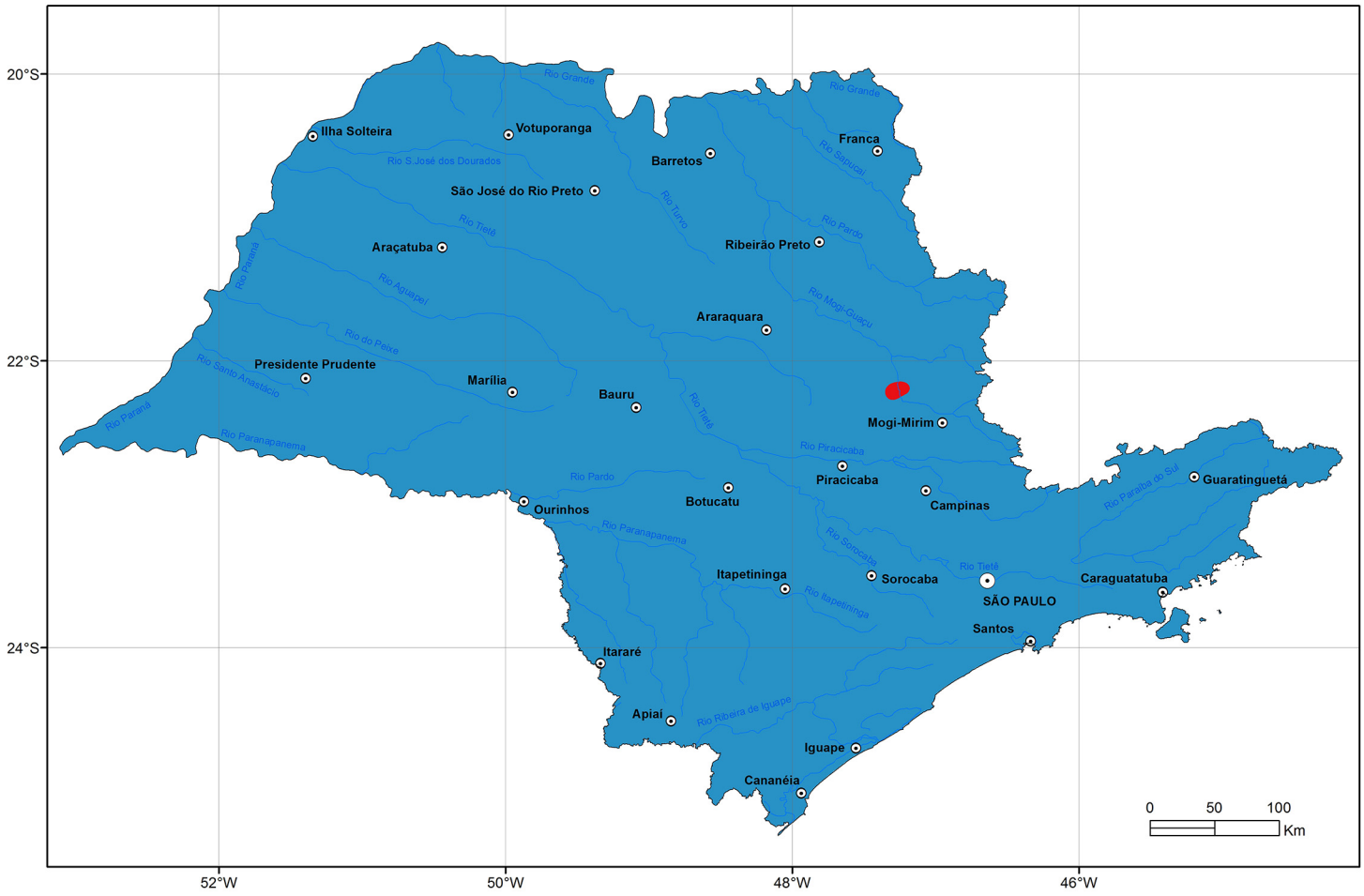




Estatística Descritiva

Elemento	Rb
Limite de Detecção (LD)	0,2 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	3,7
Valor Mínimo	0,3
Valor Máximo	131,1
Média	9,6
Variância	287,1
Desvio Padrão	16,9
Coeficiente de Variação	1,8
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	84

Rênio Re Sedimentos



Legenda

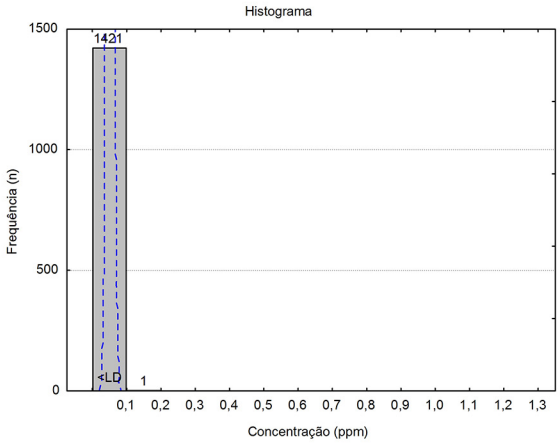
Cidade

Rio

Rênio (ppm)

<0,01

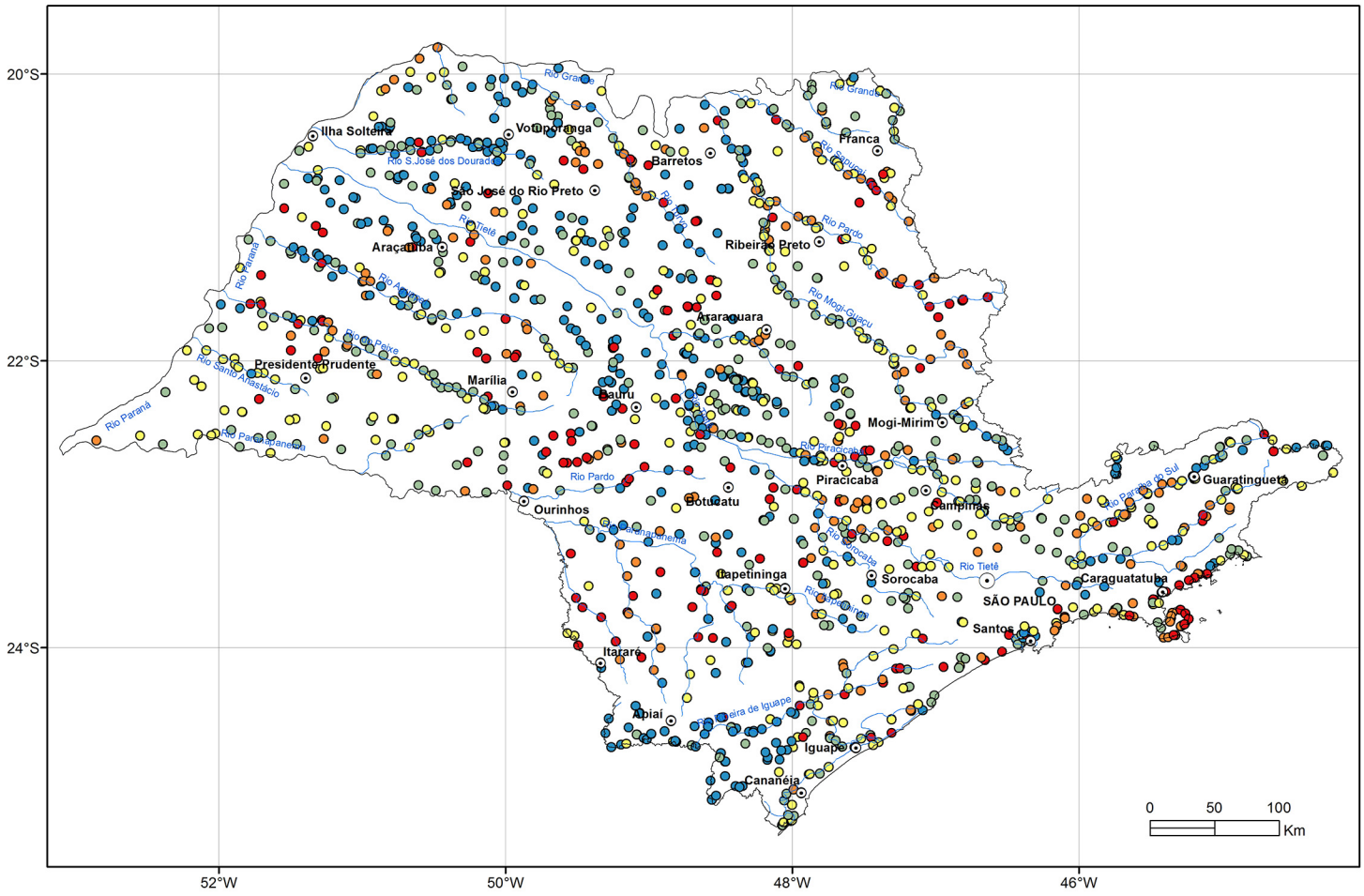
0,01 a 0,02



Estatística Descritiva

Elemento	Re
Limite de detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1,0
Valor mínimo	<0,1
Valor máximo	0,2
Média	<0,1
Mediana	<0,1
Percentil 75	<0,1
Percentil 90	<0,1
Percentil 98	<0,1
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	0,000198

Sulfato SO_4^- Águas

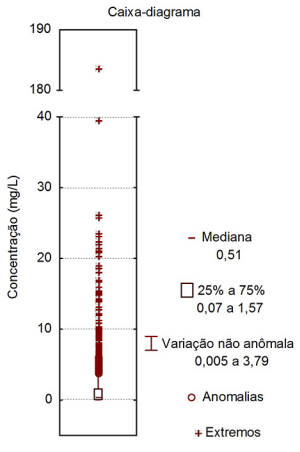


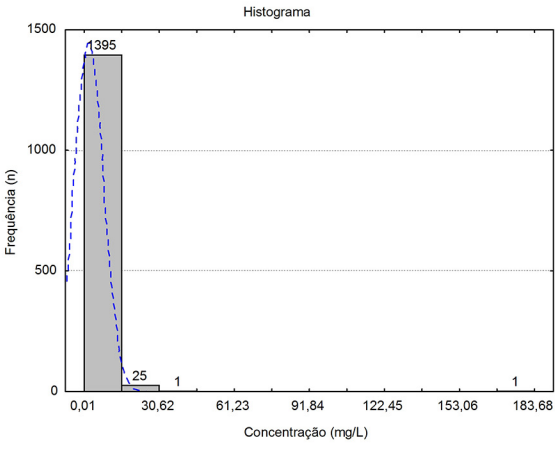
Sulfato (mg/L)

- <0,01 a 0,07
- 0,08 a 0,51
- 0,52 a 1,57
- 1,58 a 3,82
- 3,83 a 183,68

Legenda

- Cidade
- Rio

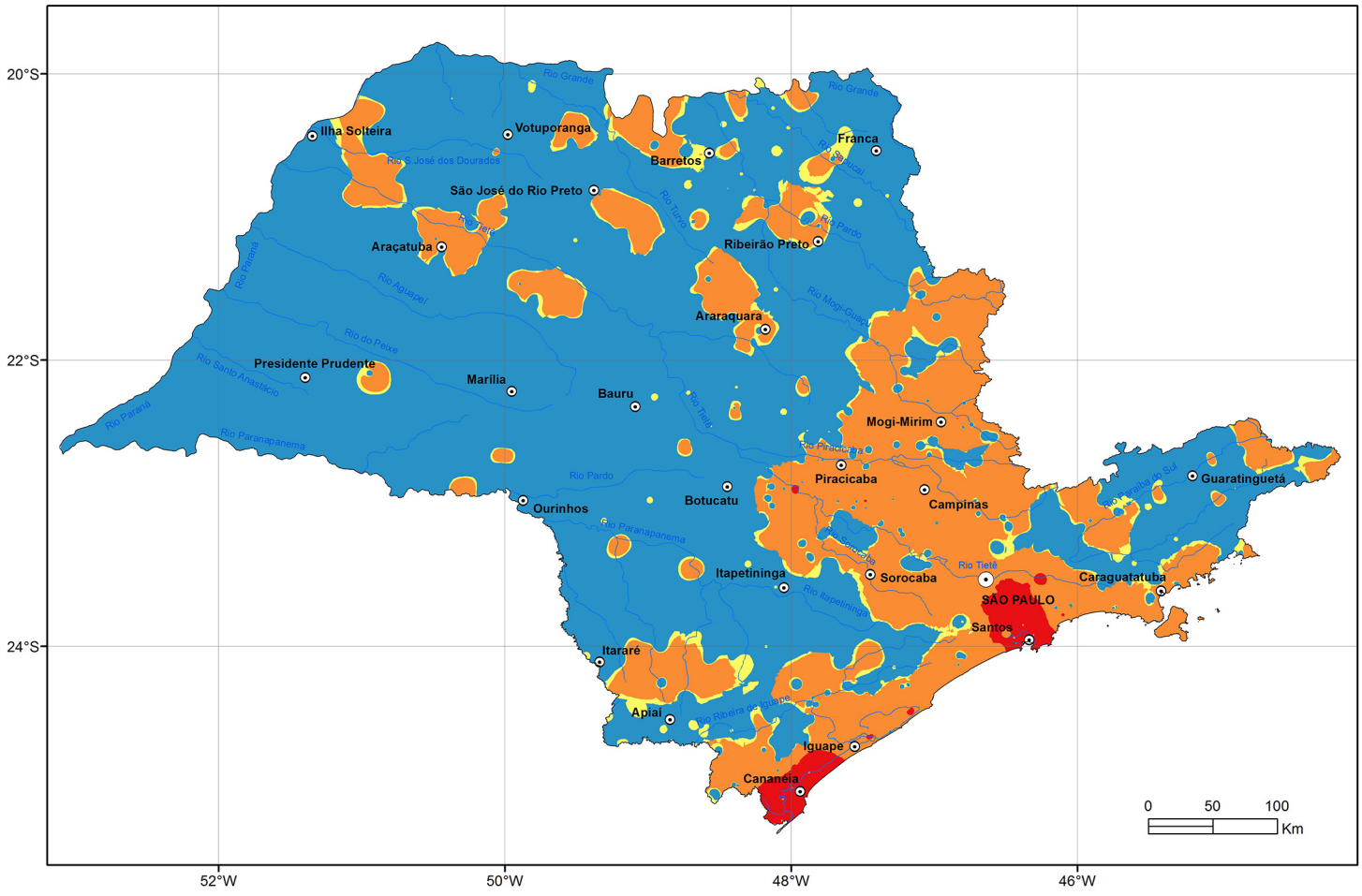




Estatística Descritiva

Elemento	NO_3^-
Limite de Detecção (LD)	0,01 (mg/L)
Número de medidas	1422
Resultos > LD	1109
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	183,68
Média	1,84
Mediana	0,51
Variância	35,91
Desvio Padrão	5,99
Coeficiente de Variação	3,3
Referência nacional (BRASIL, 2005)	250
Referência internacional	-
Referência consumo humano (BRASIL, 2011)	250

Enxofre S Sedimentos

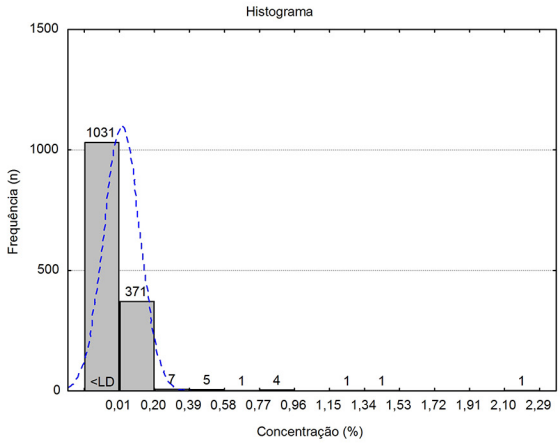


Legenda

- Cidade
- Rio

Enxofre (%)

- <0,01
- 0,01
- 0,02 a 0,15
- 0,16 a 2,25

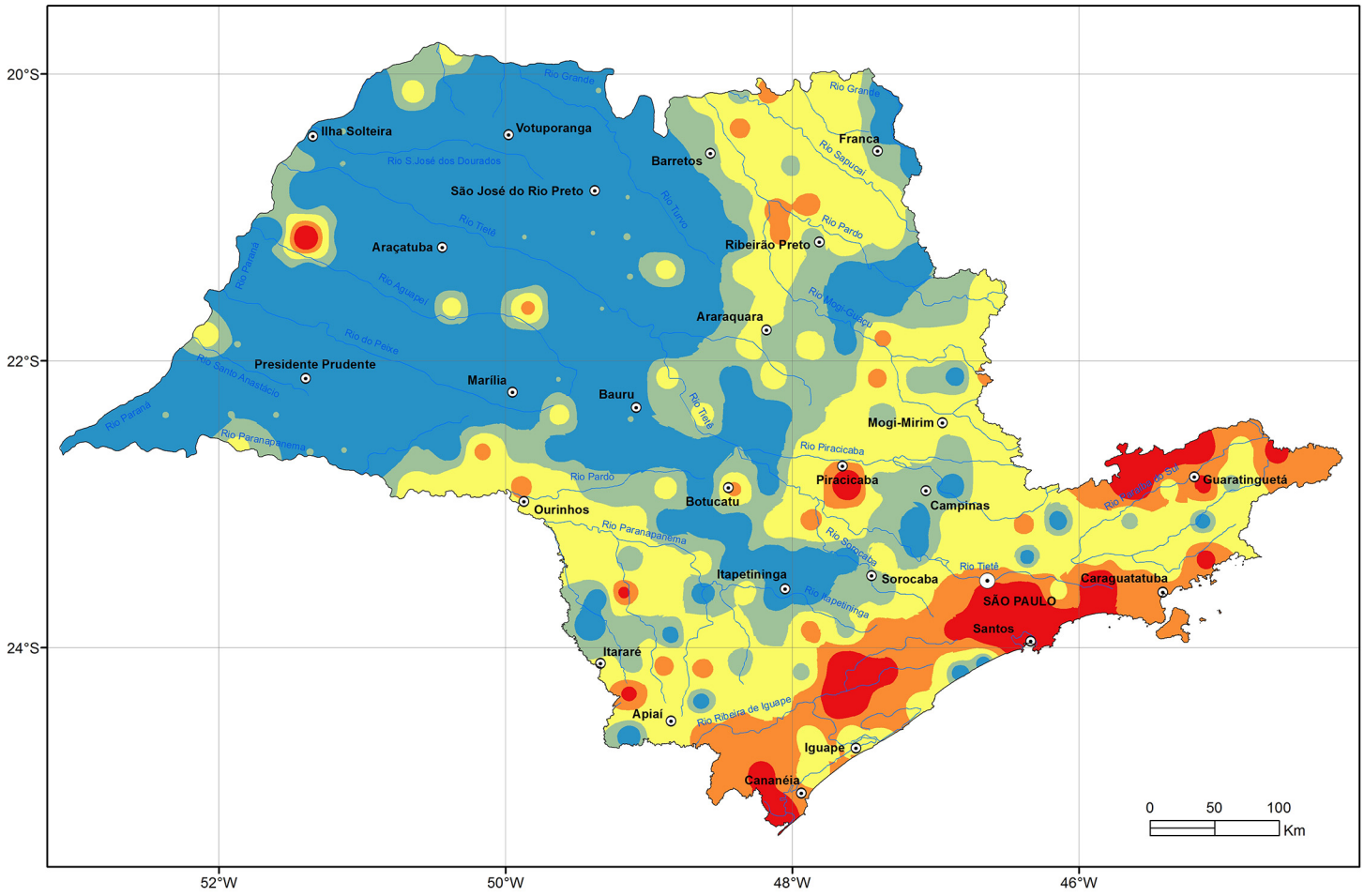


Estatística Descritiva

Elemento	S
Limite de detecção (LD)	0,01 (%)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	391
Valor mínimo	<0,01
Valor máximo	2,25
Média	0,02
Mediana	<0,01
Percentil 75	0,01
Percentil 90	0,03
Percentil 98	0,15
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Wedepohl, 1995)	0,09

Enxofre S

Solos

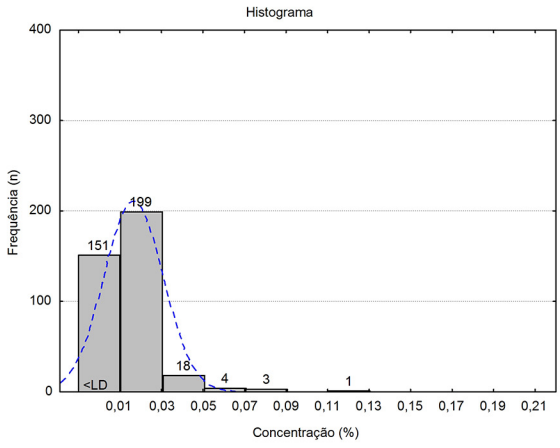


Enxofre (%)

- <0,01
- 0,01
- 0,02
- 0,03
- 0,04 a 0,13

Legenda

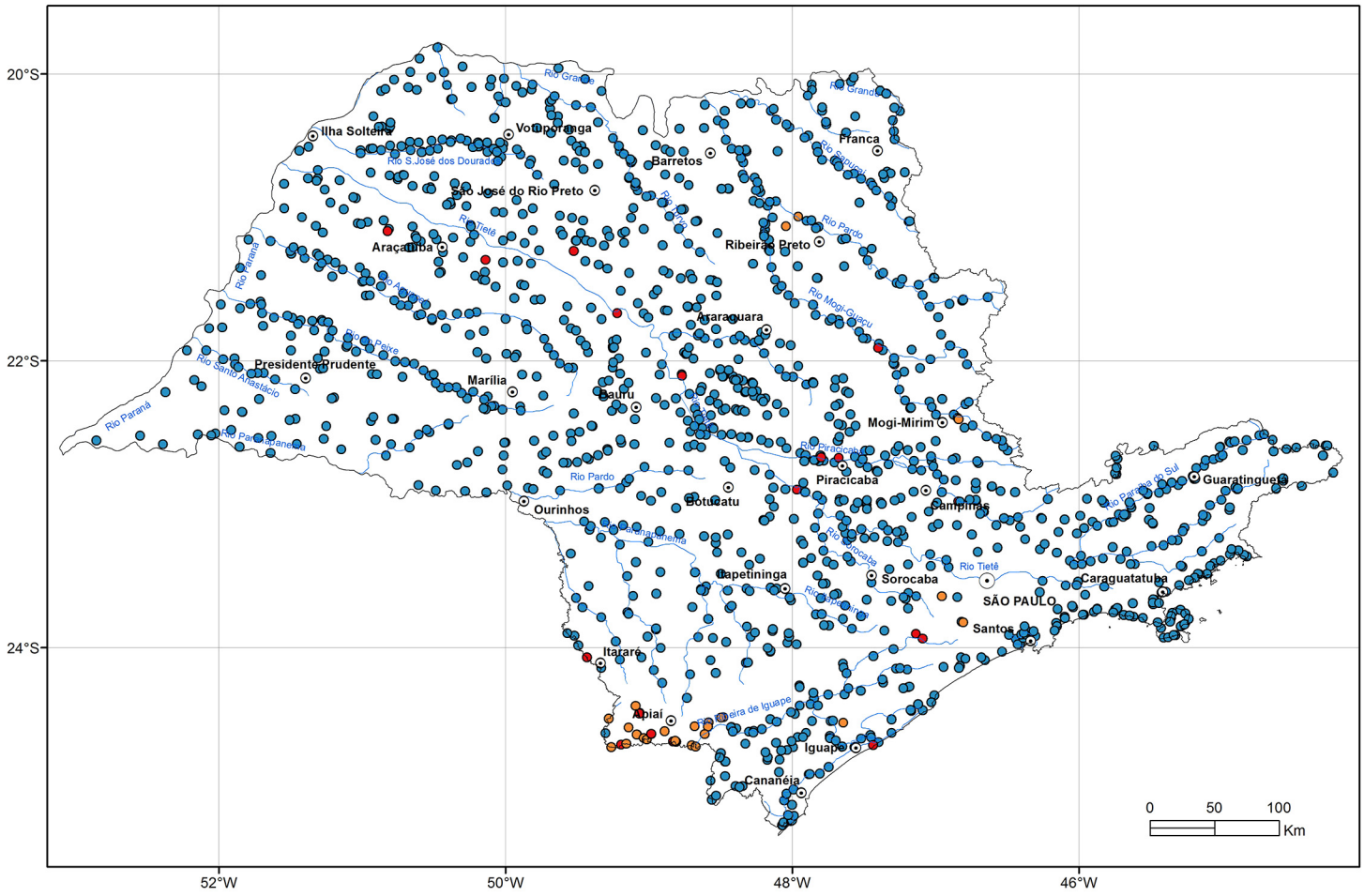
- Cidade
- Rio



Estatística Descritiva

Elemento	S
Limite de Detecção (LD)	0,01 (%)
Número de medidas	376
Resultos > LD	225
Valor Mínimo	<0,04
Valor Máximo	0,13
Média	0,02
Mediana	0,01
Percentil 75	0,02
Percentil 90	0,03
Percentil 98	0,06
Referência nacional	-
Referência internacional (CCME, 1991)	500
Média na crosta superior (Wedepohl, 1995)	621

Antimônio Sb Águas

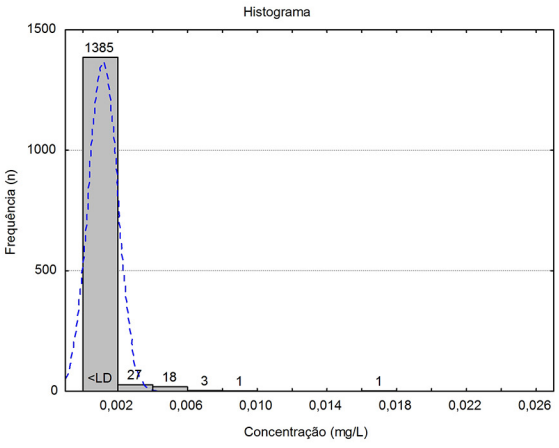


Legenda

- Cidade
- Rio

Antimônio (mg/L)

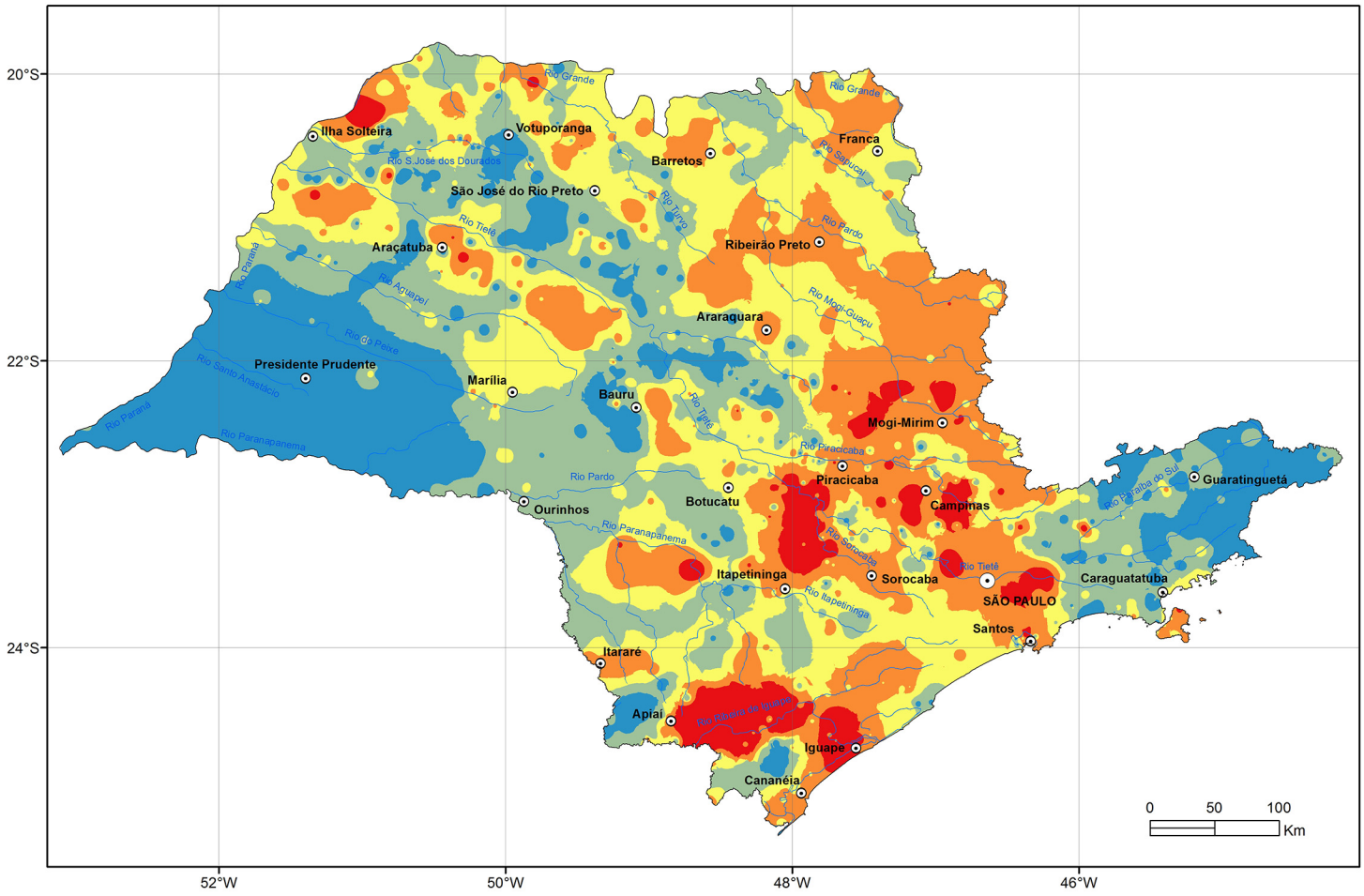
- **<0,002**
- **0,002 a 0,004**
- **0,005 a 0,017**



Estatística Descritiva

Elemento	Sb
Limite de Detecção (LD)	0,002 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	50
Valor Mínimo	<0,002
Valor Máximo	0,017
Média	<0,002
Mediana	<0,002
Percentil 75	<0,002
Percentil 90	<0,002
Percentil 98	0,004
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,005
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,006
Referência consumo humano (BRASIL, 2011)	0,005

Antimônio Sb Sedimentos



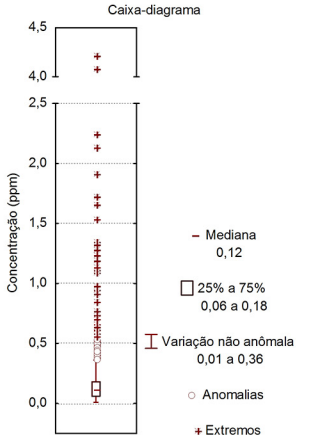
Legenda

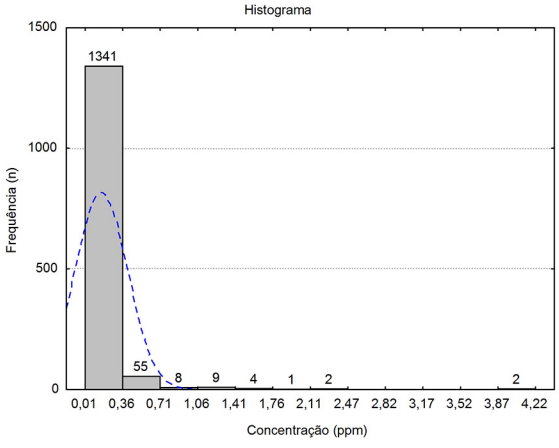
Cidade

Rio

Antimônio (ppm)

- <0,05 a 0,06
- 0,07 a 0,12
- 0,13 a 0,18
- 0,19 a 0,36
- 0,37 a 4,22

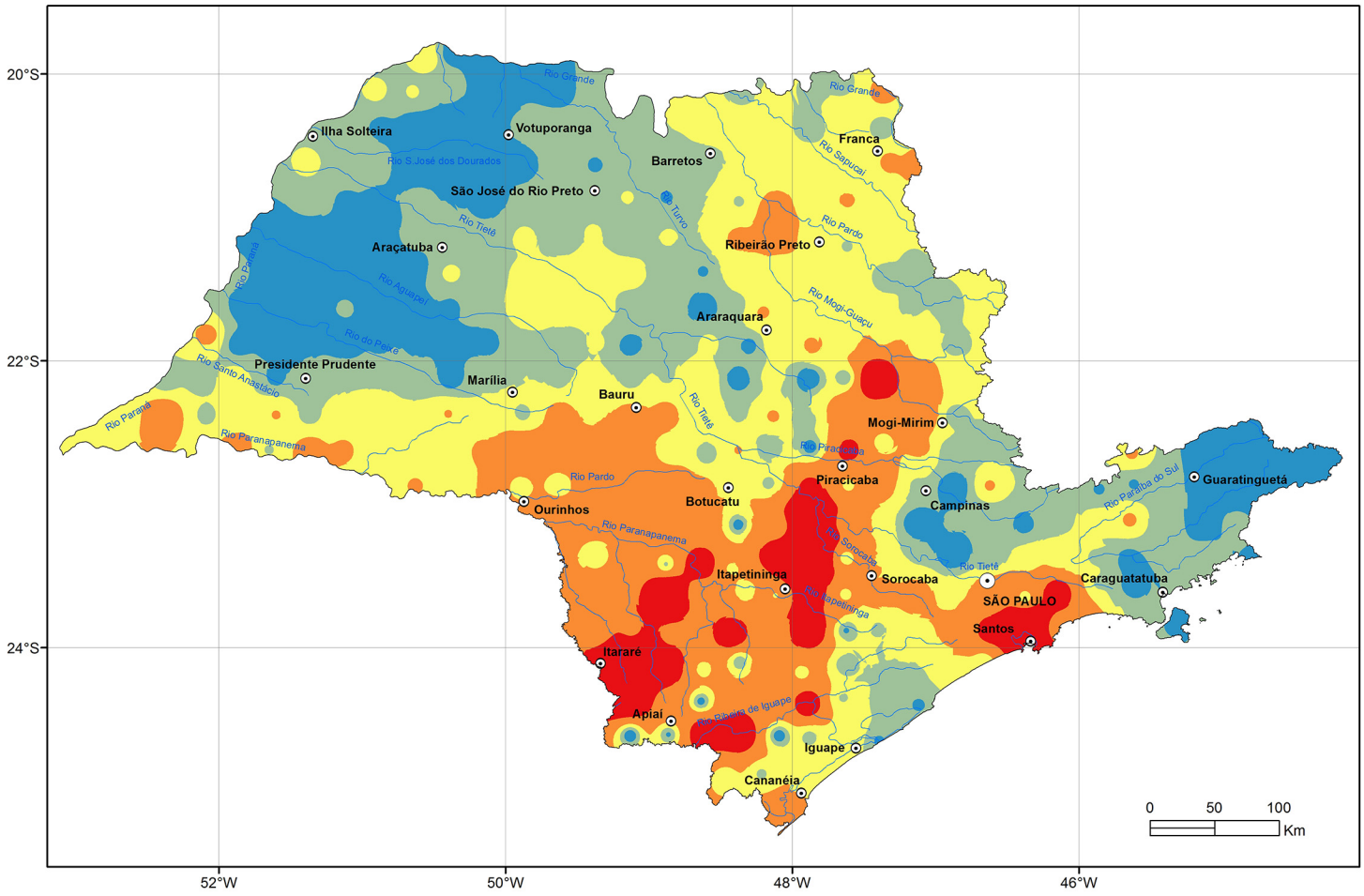




Estatística Descritiva

Elemento	Sb
Limite de detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1101
Valor mínimo	<0,05
Valor máximo	4,22
Média	0,16
Mediana	0,12
Variância	0,06
Desvio padrão	0,24
Coeficiente de variação	1,5
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	0,4

Antimônio Sb Solos

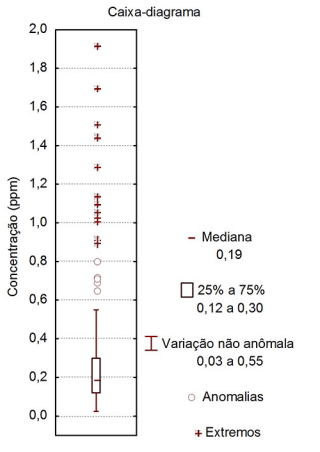


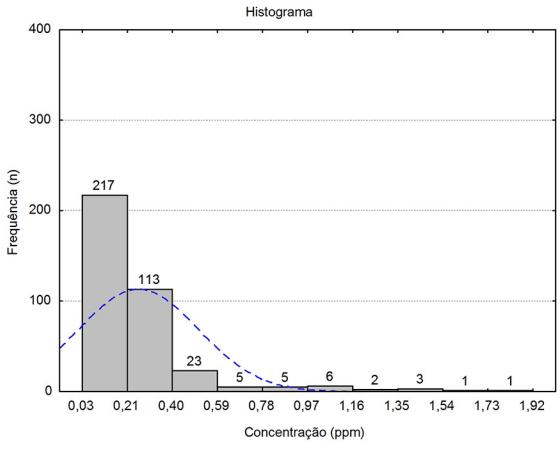
Legenda

- Cidade
- Rio

Antimônio (ppm)

- <0,05 a 0,12
- 0,13 a 0,19
- 0,20 a 0,30
- 0,31 a 0,57
- 0,58 a 1,92

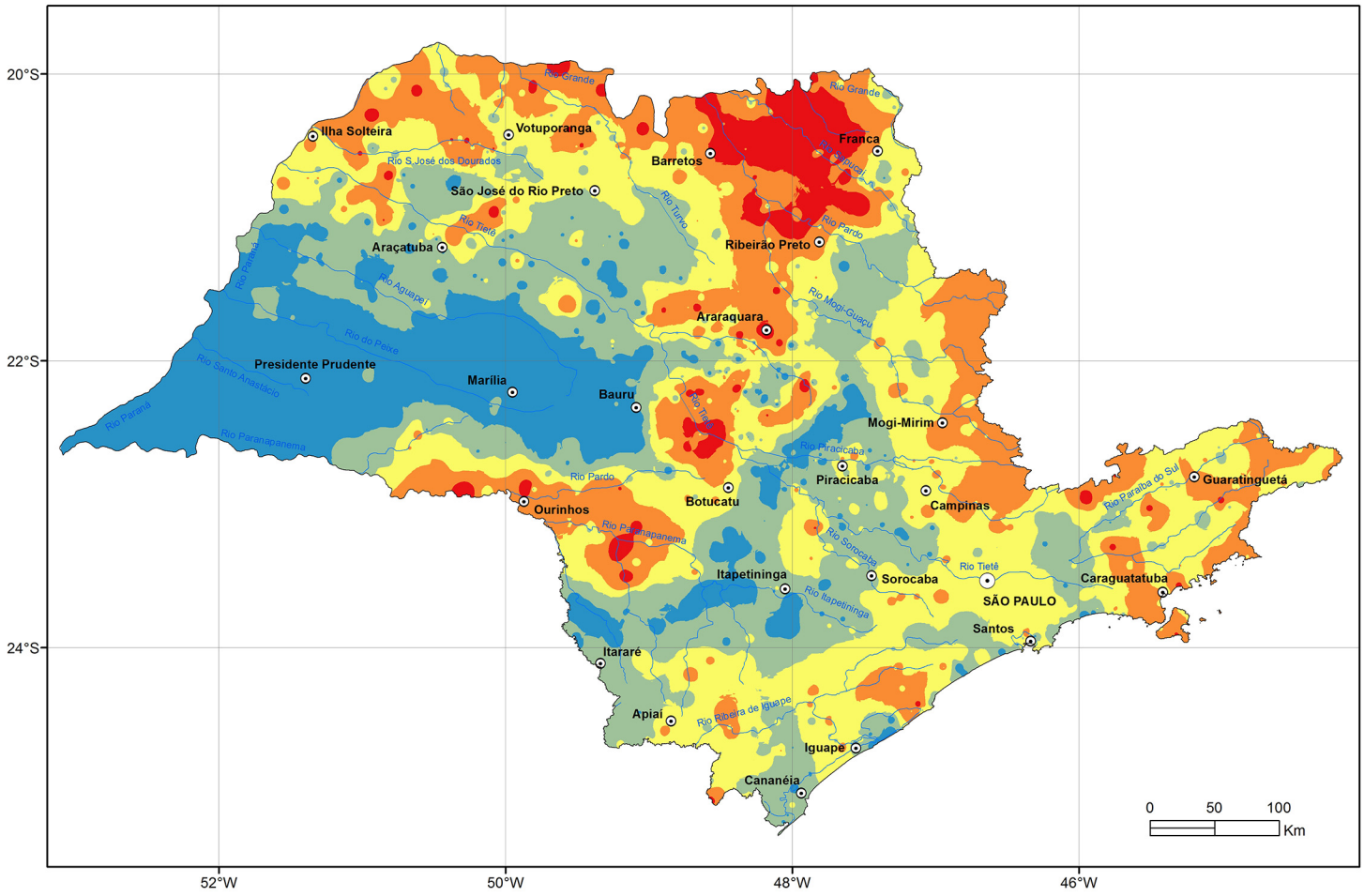




Estatística Descritiva

Elemento	Sb
Limite de Detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	369
Mediana	0,19
Valor Mínimo	<0,05
Valor Máximo	1,92
Média	0,26
Variância	0,06
Desvio Padrão	0,25
Coeficiente de Variação	1,0
Referência nacional (CETESB, 2014)	2
Referência internacional (Buchman, 2008)	3
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	0,4

Escândio Sc Sedimentos

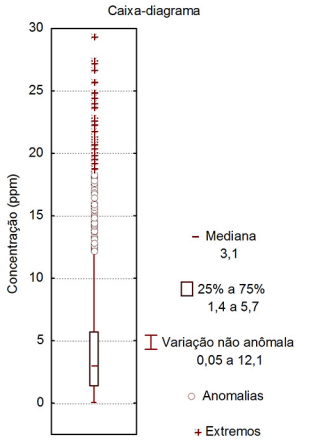


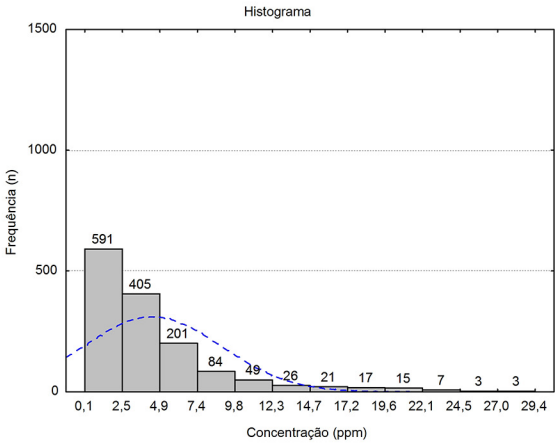
Escândio (ppm)

- <0,1 a 1,4
- 1,5 a 3,1
- 3,2 a 5,7
- 5,8 a 12,1
- 12,2 a 29,4

Legenda

- Cidade
- Rio

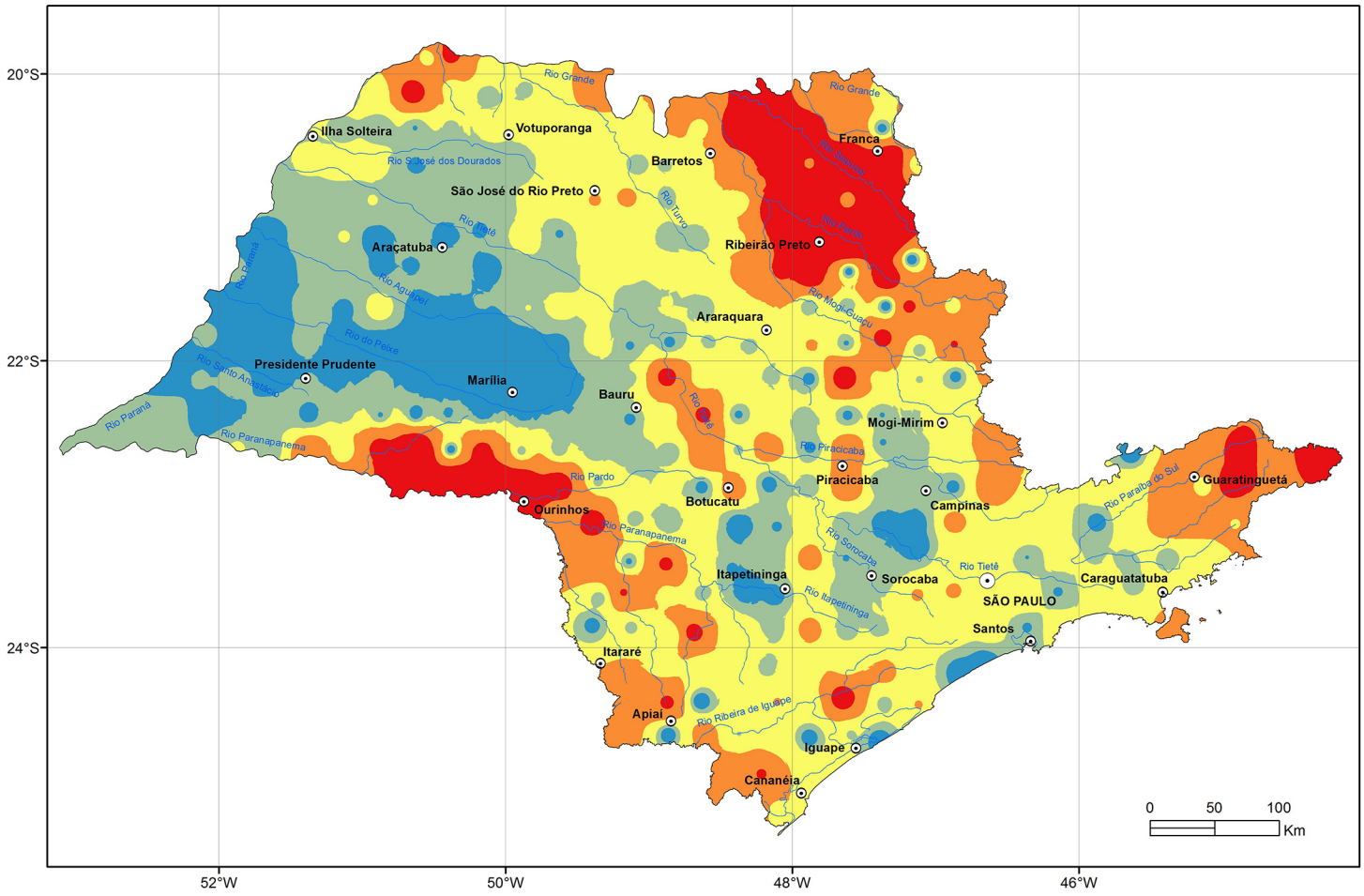




Estatística Descritiva

Elemento	Sc
Limite de detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1421
Valor mínimo	<0,1
Valor máximo	29,4
Média	4,4
Mediana	3,1
Variância	20,0
Desvio padrão	4,5
Coeficiente de variação	1,0
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	14

Escândio Sc Solos

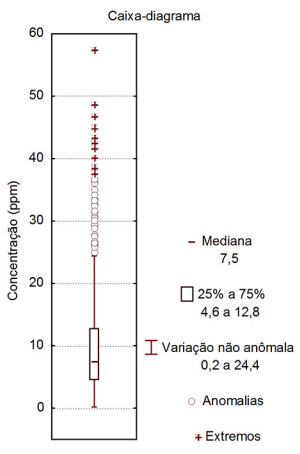


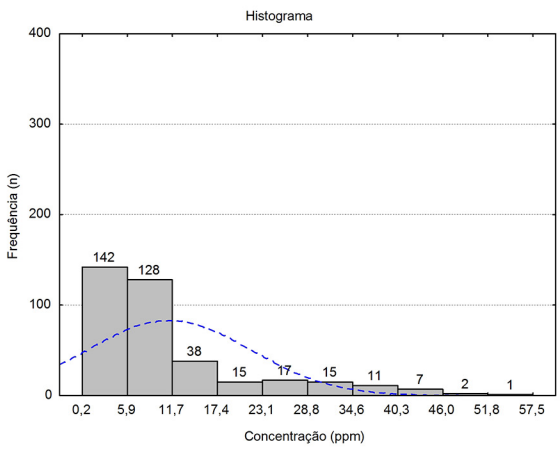
Escândio (ppm)

- 0,2 a 4,6
- 4,7 a 7,5
- 7,6 a 12,8
- 12,9 a 25,1
- 25,2 a 57,5

Legenda

- Cidade
- Rio

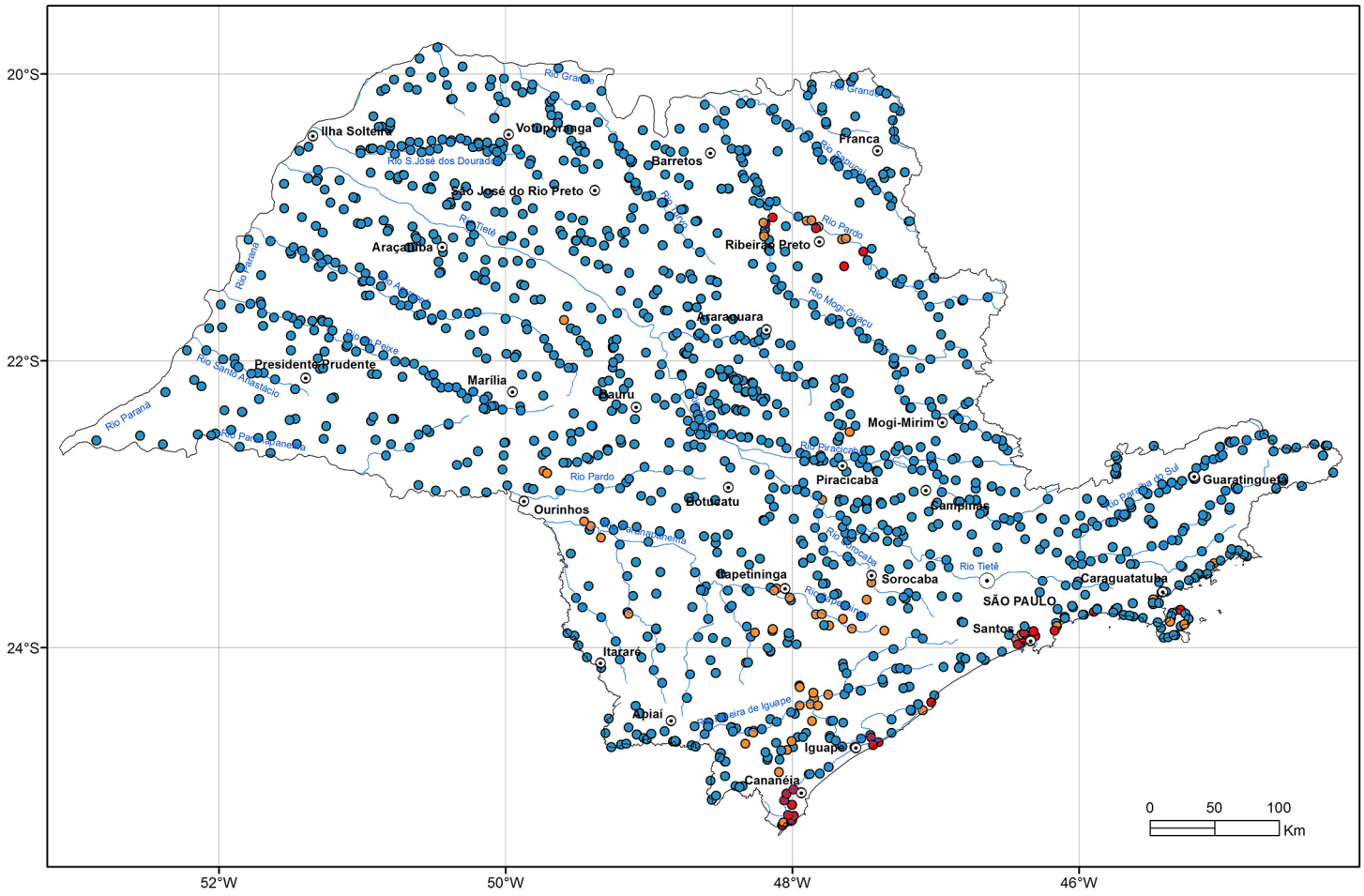




Estatística Descritiva

Elemento	Sc
Limite de Detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	7,5
Valor Mínimo	0,2
Valor Máximo	57,5
Média	11,1
Variância	107,4
Desvio Padrão	10,4
Coeficiente de Variação	0,9
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	14

Selênio Se Águas

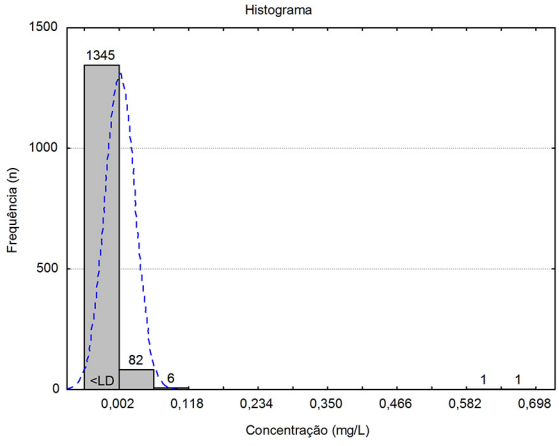


Legenda

- Cidade
- Rio

Selênio (mg/L)

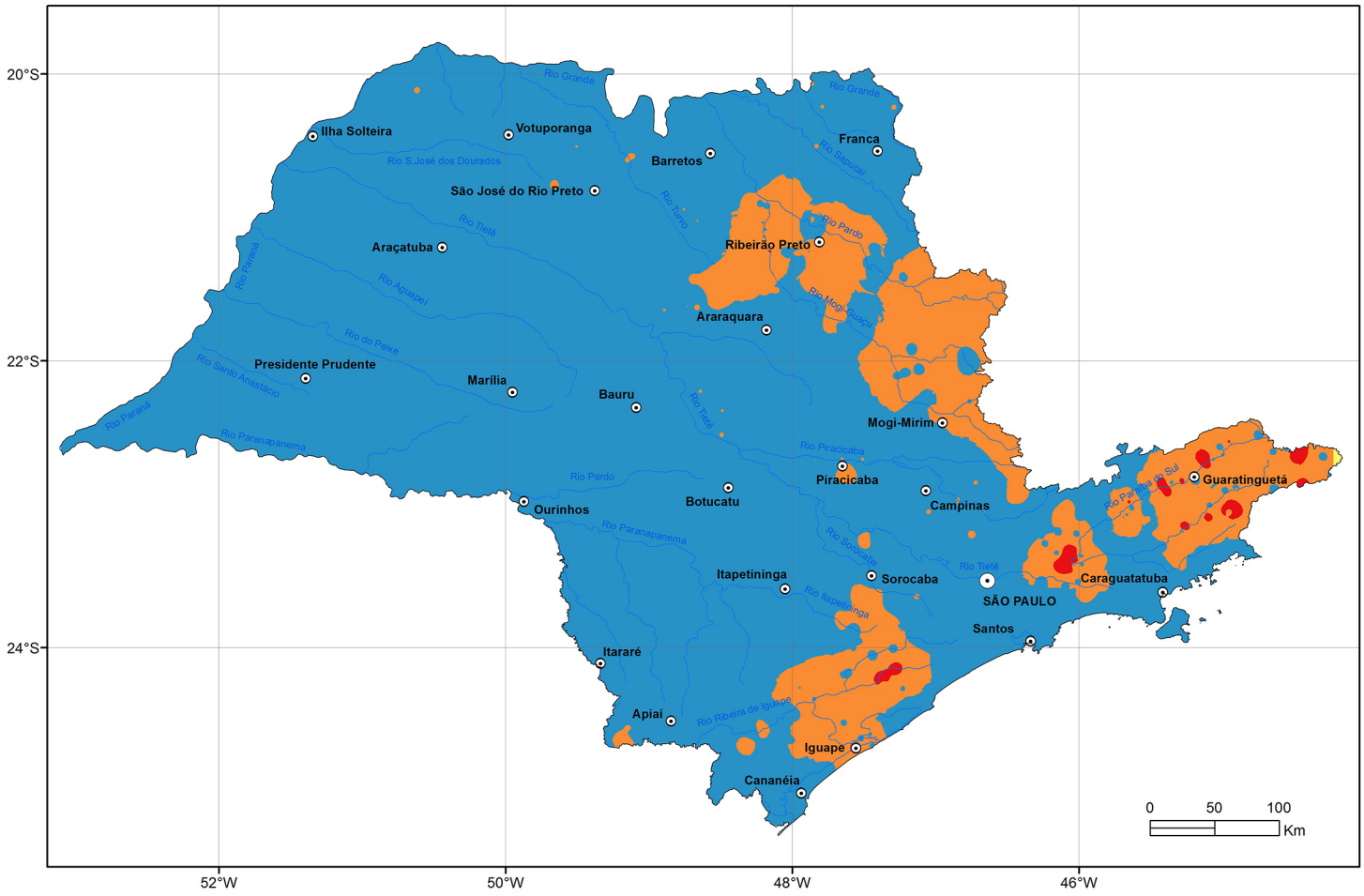
- **<0,002**
- **0,002 a 0,014**
- **0,015 a 0,695**



Estatística Descritiva

Elemento	Se
Limite de Detecção (LD)	0,002 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	90
Valor Mínimo	<0,002
Valor Máximo	0,695
Média	0,003
Mediana	<0,002
Percentil 75	<0,002
Percentil 90	<0,002
Percentil 98	0,014
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,01
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,005
Referência consumo humano (BRASIL, 2008)	0,01

Selênio Se Sedimentos



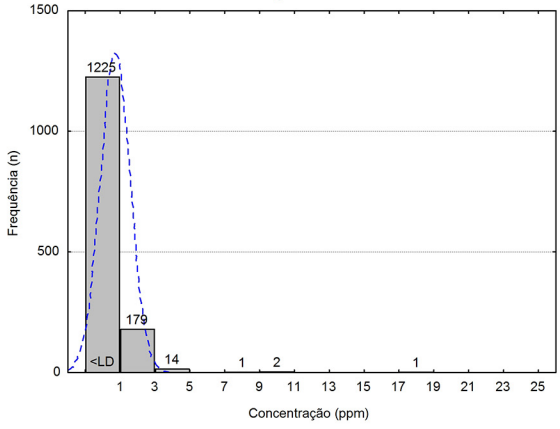
Legenda

- Cidade
- Rio

Selênio (ppm)

- <1
- 1 a 3
- 4 a 19

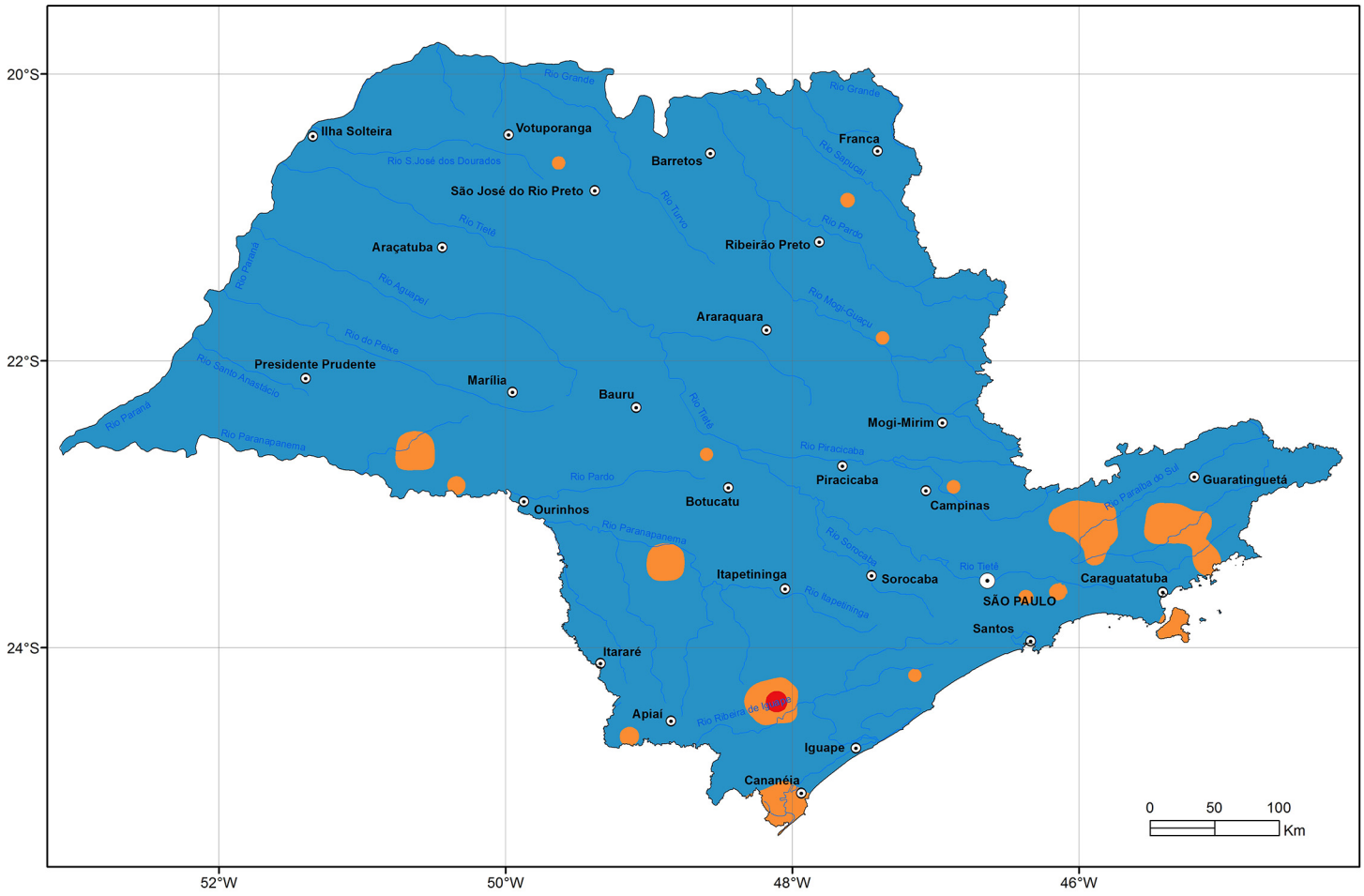
Histograma



Estatística Descritiva

Elemento	Se
Limite de detecção (LD)	1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	197
Valor mínimo	<1
Valor máximo	19
Média	<1
Mediana	<1
Percentil 75	<1
Percentil 90	1
Percentil 98	3
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	0,09

Selênio Se Solos



Legenda

Cidade

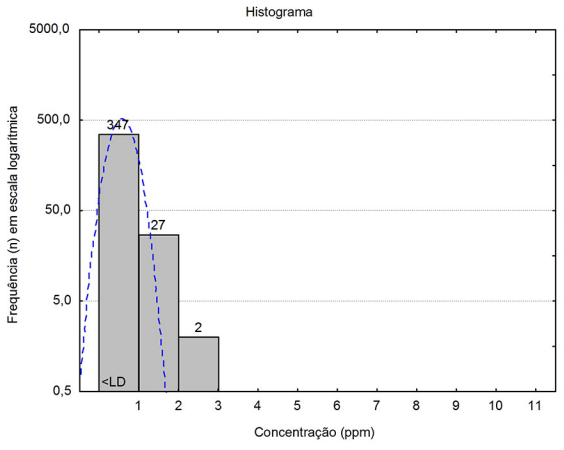
Rio

Selênio (ppm)

<1

1 a 2

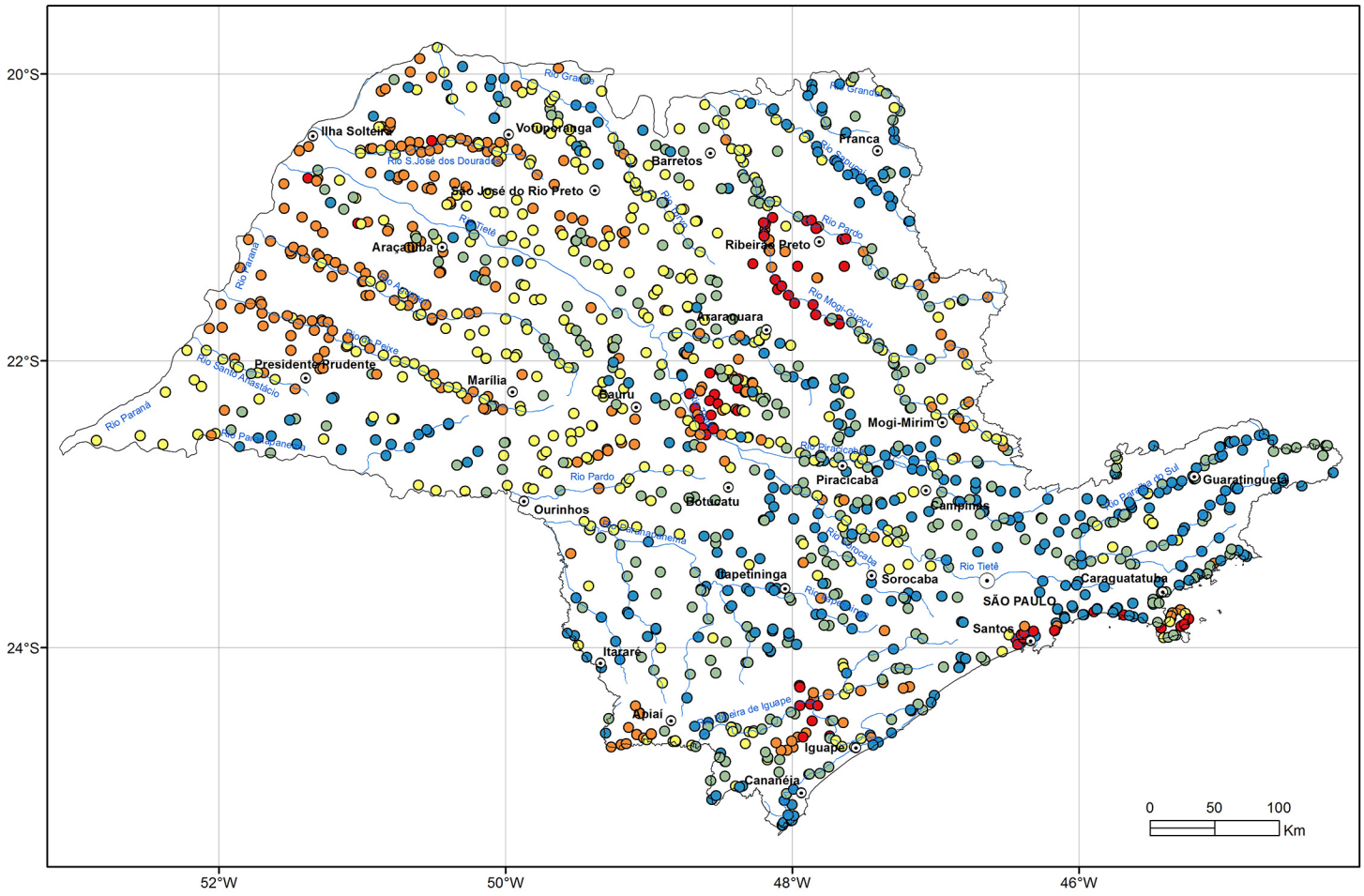
3



Estatística Descritiva

Elemento	Se
Limite de Detecção (LD)	1 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	29
Valor Mínimo	<1
Valor Máximo	3
Média	<1
Mediana	<1
Percentil 75	<1
Percentil 90	<1
Percentil 98	2
Referência nacional (CETESB, 2014)	1,2
Referência internacional (CCME, 2009)	1
Média na crosta superior (Rudinick e Gao,2003)	0,09

Sílicio Si Águas

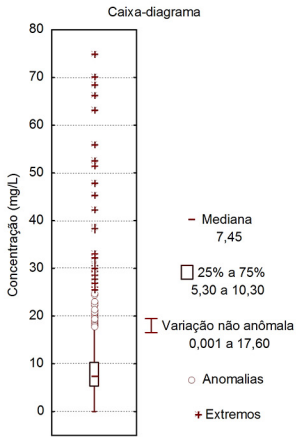


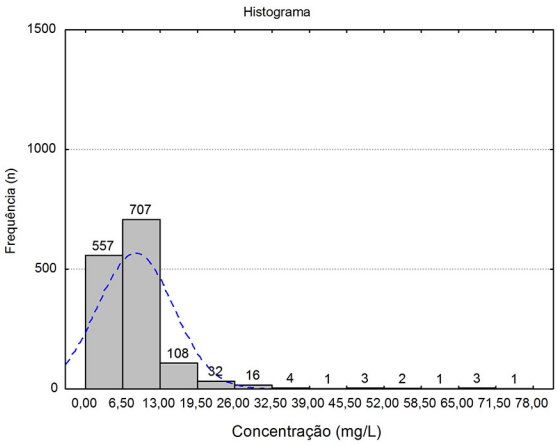
Silício (mg/L)

- <0,002 a 5,300
- 5,301 a 7,450
- 7,451 a 10,300
- 10,301 a 17,800
- 17,801 a 75,000

Legenda

- Cidade
- Rio

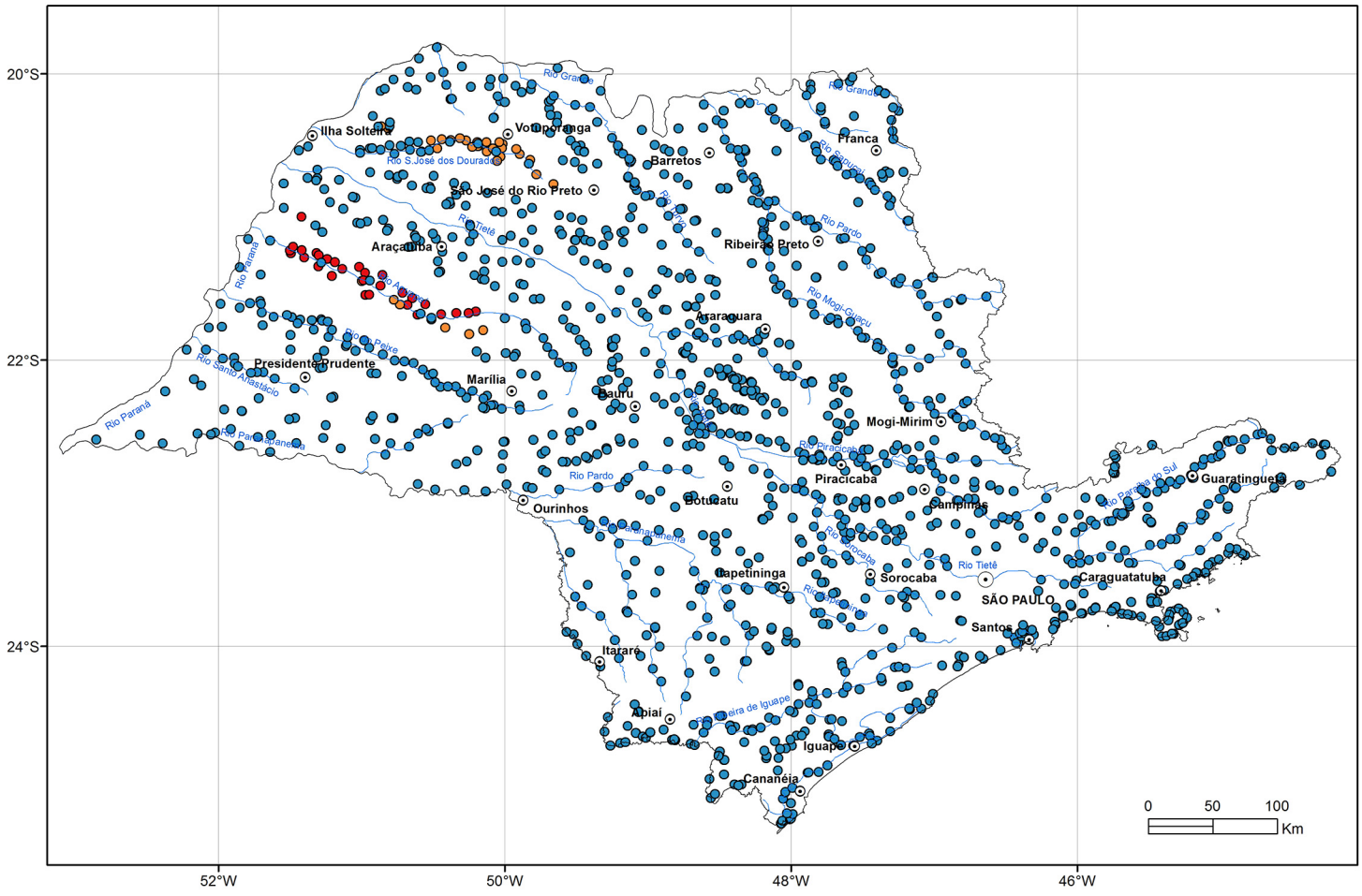




Estatística Descritiva

Elemento	Si
Limite de Detecção (LD)	0,002 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	1432
Valor Mínimo	<0,002
Valor Máximo	75,000
Mediana	7,450
Média	8,685
Variância	43,010
Desvio Padrão	6,558
Coeficiente de Variação	0,8
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência consumo humano	-

Estanho Sn Águas

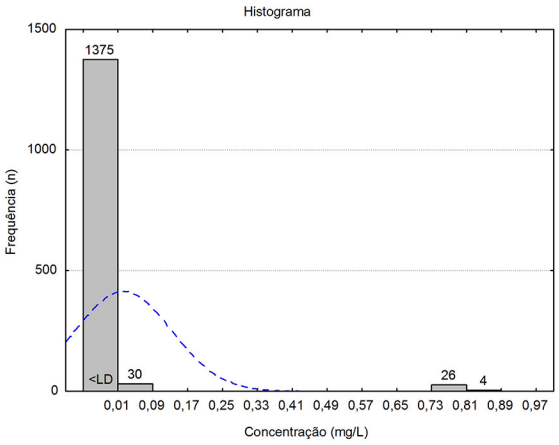


Legenda

- Cidade
- Rio

Estanho (mg/L)

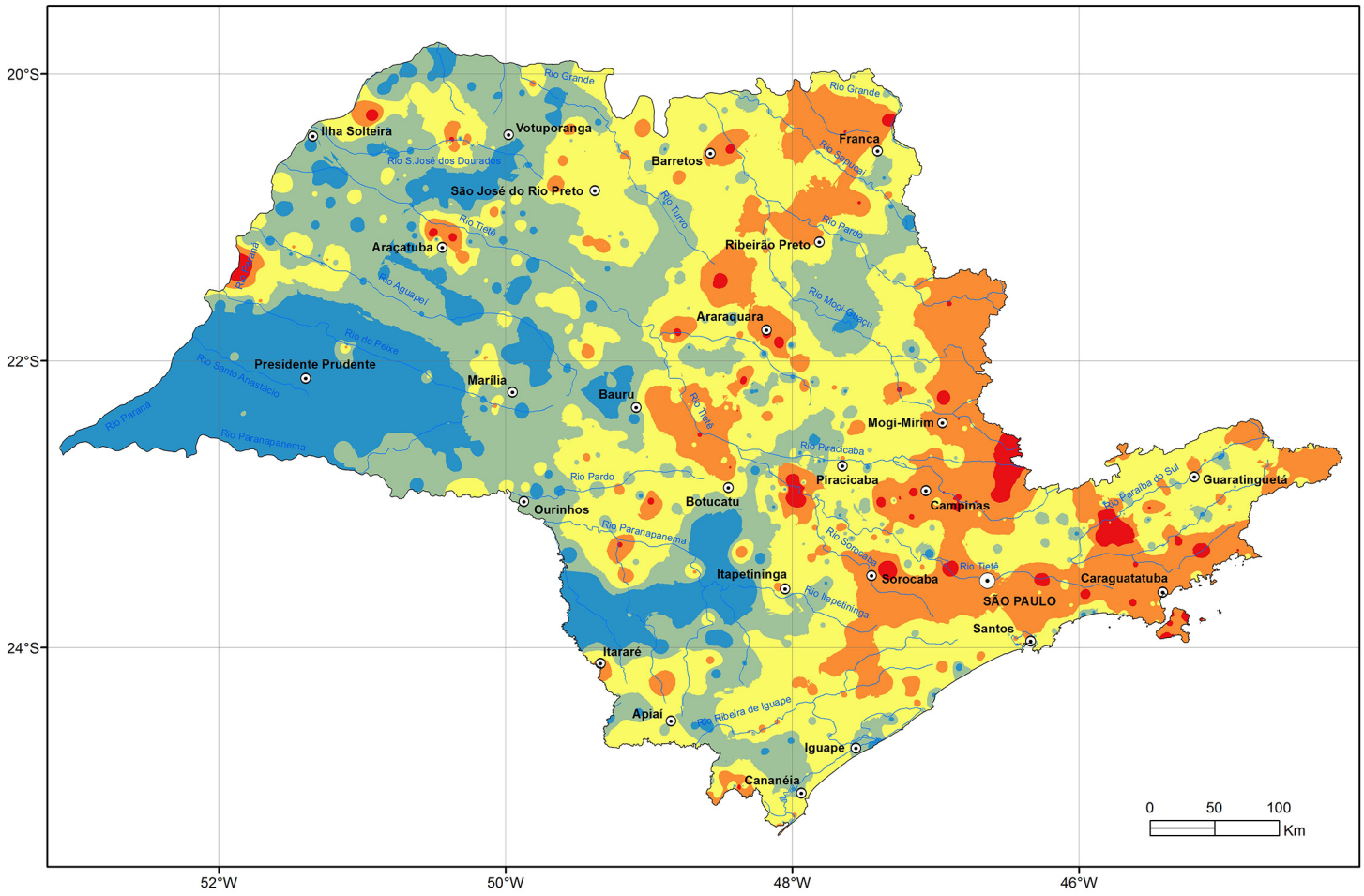
- **<0,01**
- **0,01 a 0,74**
- **0,75 a 0,88**



Estatística Descritiva

Elemento	Sn
Limite de Detecção (LD)	0,01 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	60
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	0,88
Média	0,02
Mediana	<0,01
Percentil 75	<0,01
Percentil 90	<0,01
Percentil 98	0,74
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência consumo humano	-

Estanho Sn Sedimentos

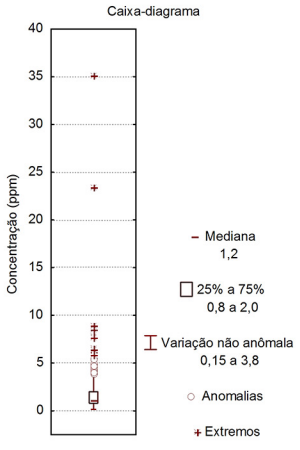


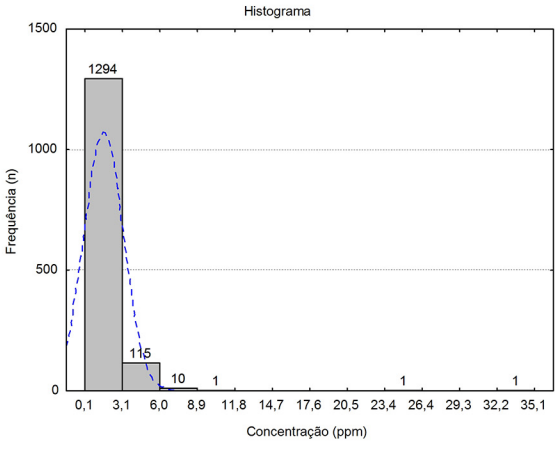
Estanho (ppm)

- <0,3 a 0,8
- 0,9 a 1,2
- 1,3 a 2,0
- 2,1 a 3,8
- 3,9 a 35,1

Legenda

- Cidade
- Rio



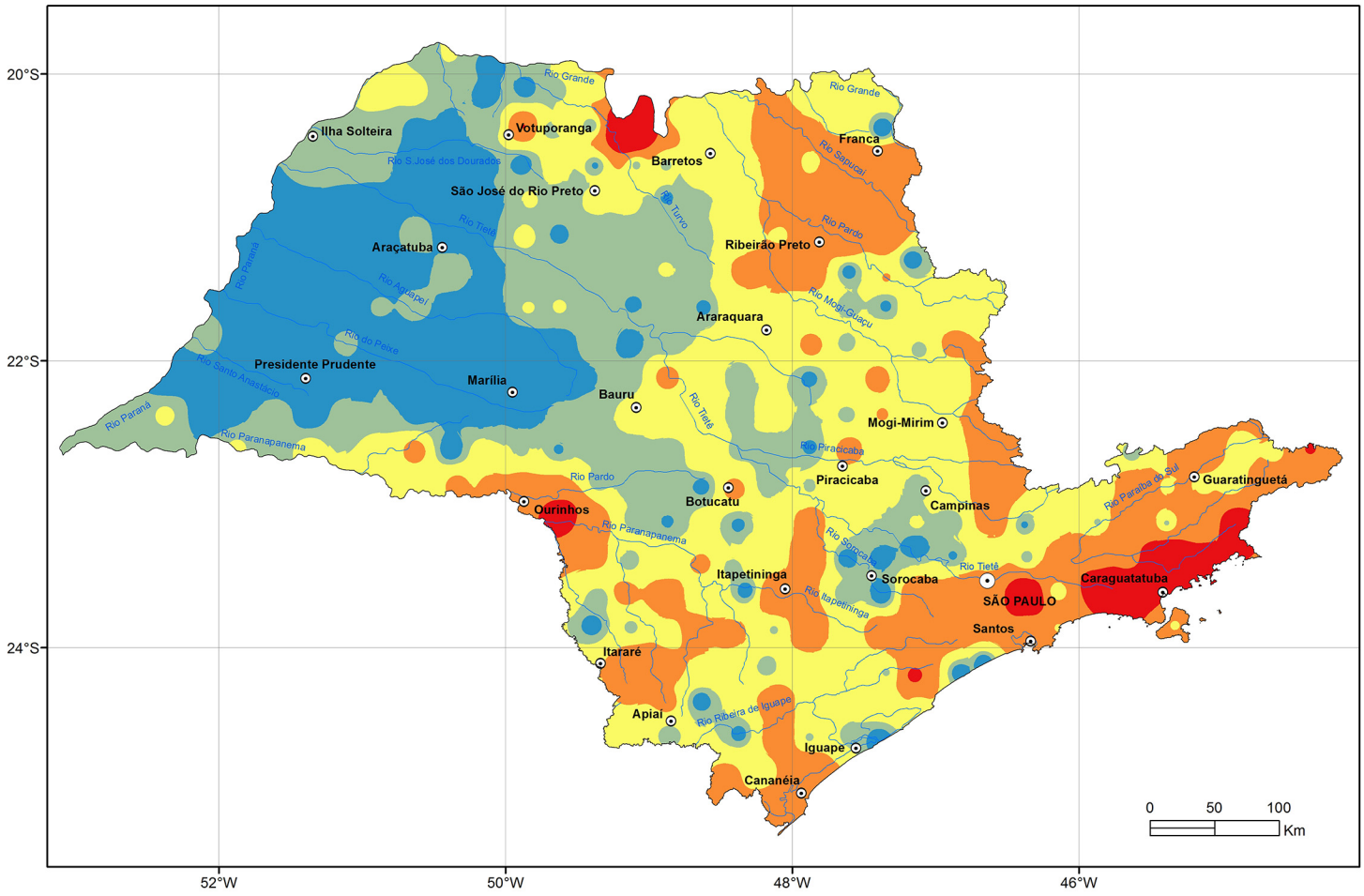


Estatística Descritiva

Elemento	Sn
Limite de detecção (LD)	0,3 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1400
Valor mínimo	<0,3
Valor máximo	35,1
Média	1,6
Mediana	1,2
Variância	2,4
Desvio padrão	1,5
Coeficiente de variação	1,0
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	2,1

Estanho Sn

Solos

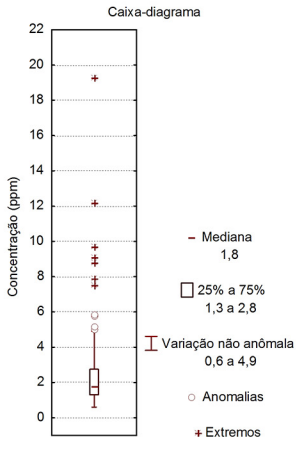


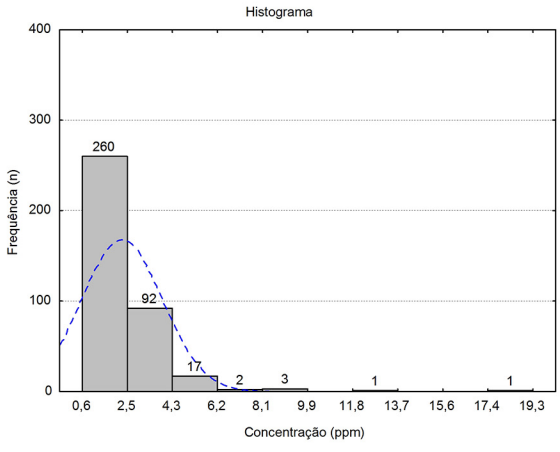
Legenda

- Cidade
- Rio

Estanho (ppm)

- 0,6 a 1,3
- 1,4 a 1,8
- 1,9 a 2,8
- 2,9 a 5,1
- 5,2 a 19,3



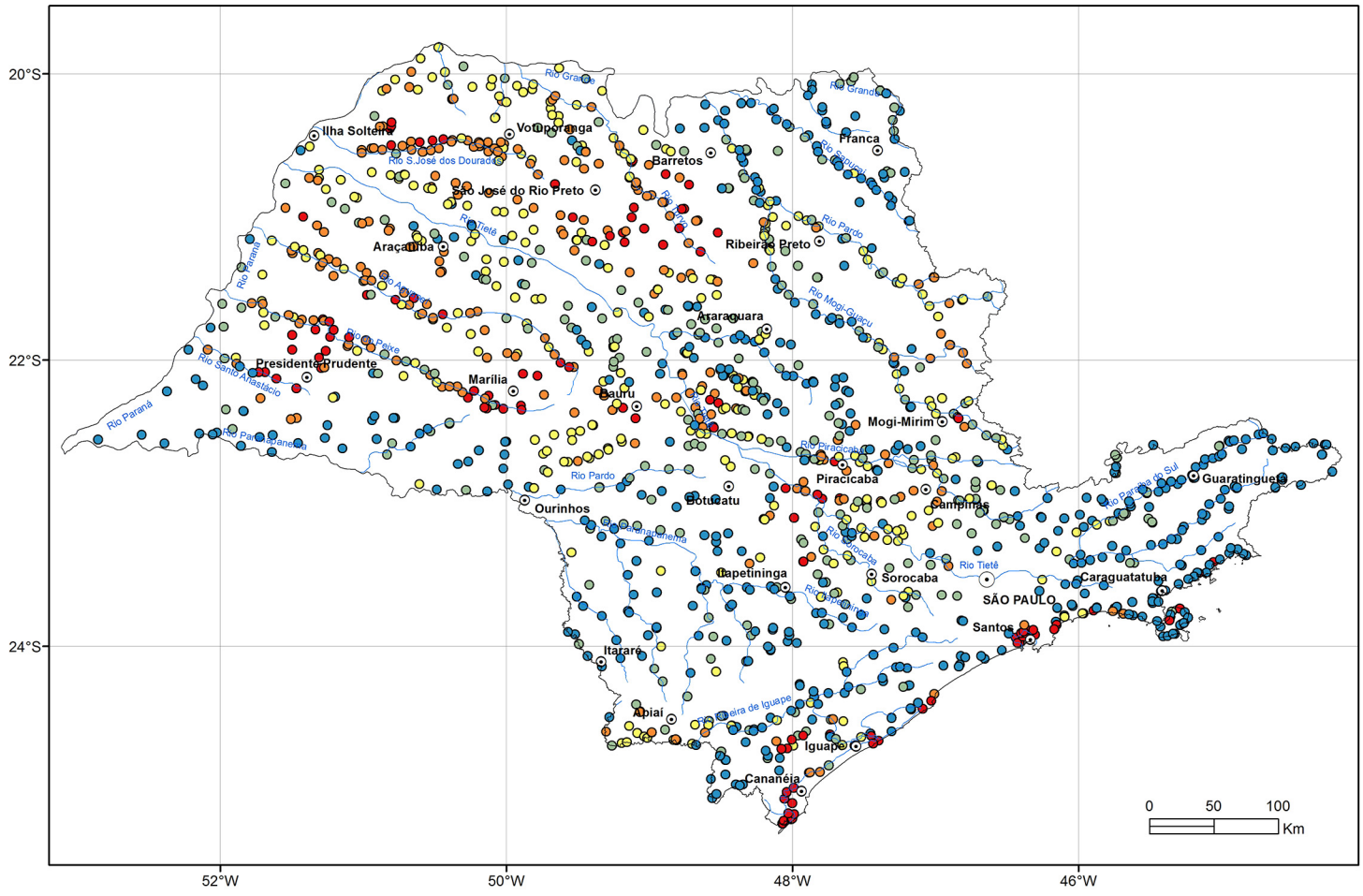


Estatística Descritiva

Elemento	Sn
Limite de Detecção (LD)	0,3 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	1,8
Valor Mínimo	0,6
Valor Máximo	19,3
Média	2,2
Variância	2,8
Desvio Padrão	1,7
Coeficiente de Variação	0,7
Referência internacional (CCME, 1991)	5
Referência internacional (Buchman, 2008)	19
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	2,1

Estrôncio Sr

Águas

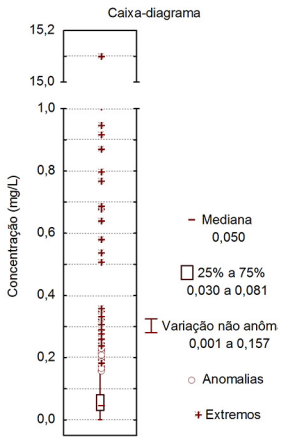


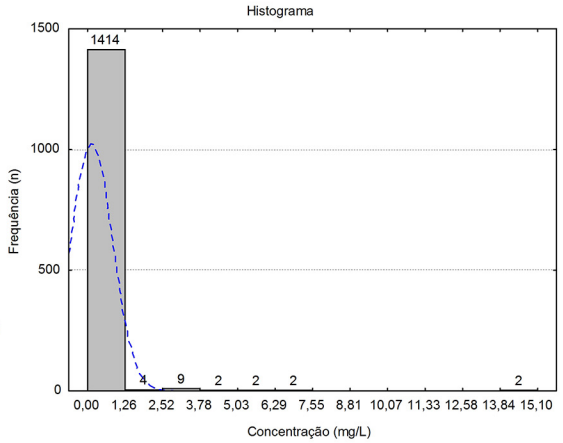
Estrôncio (mg/L)

- **<0,002 a 0,030**
- **0,031 a 0,050**
- **0,051 a 0,081**
- **0,082 a 0,157**
- **0,158 a 15,00**

Legenda

- Cidade
- Rio



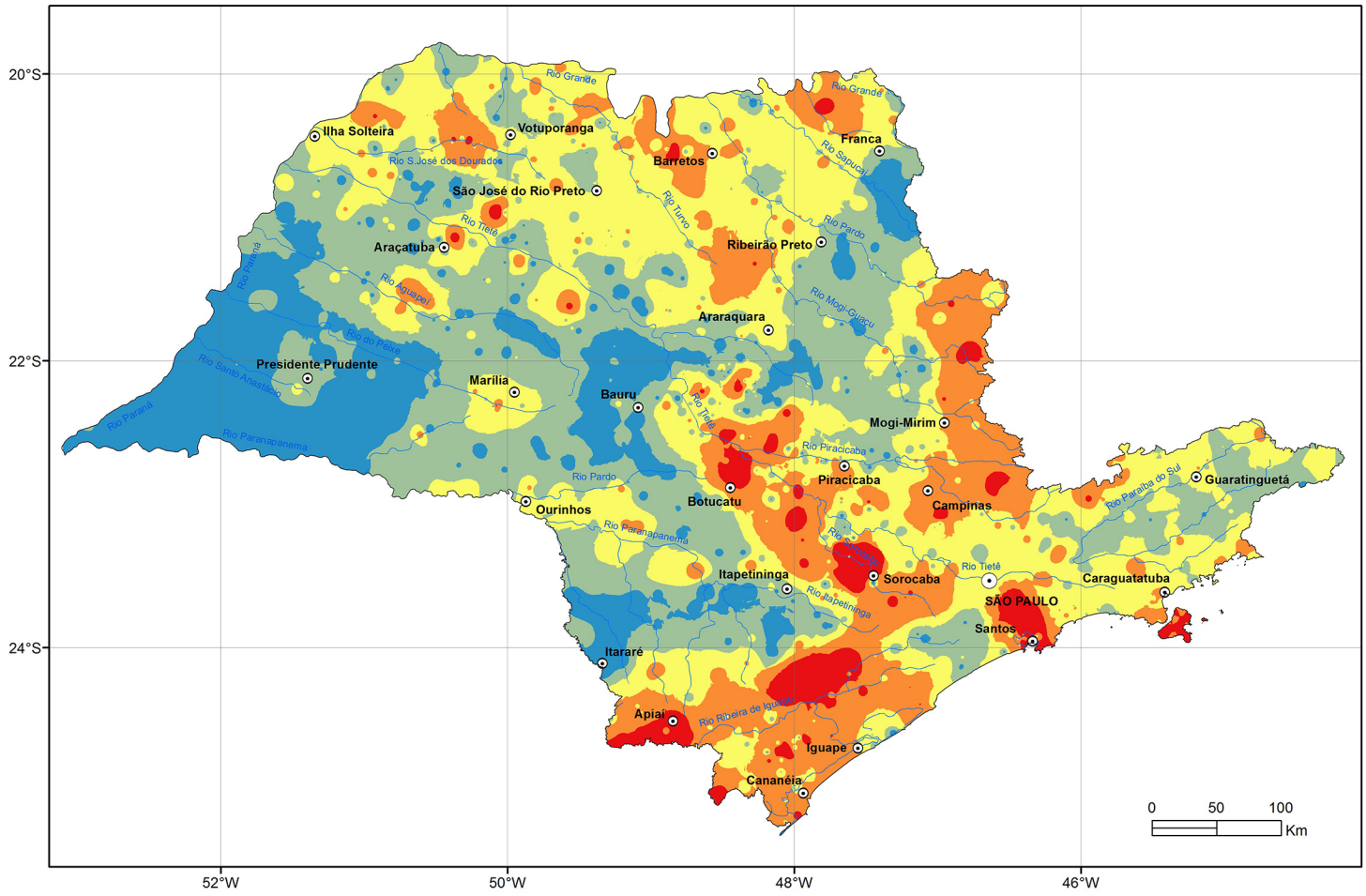


Estatística Descritiva

Elemento	Sr
Limite de Detecção (LD)	0,002 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	1351
Valor Mínimo	<0,002
Valor Máximo	15,100
Mediana	0,050
Média	0,134
Variância	0,495
Desvio Padrão	0,703
Coeficiente de Variação	5,2
Referência nacional	-
Referência internacional (Buchman, 2008)	1,5
Referência consumo humano	-

Estrôncio Sr

Sedimentos

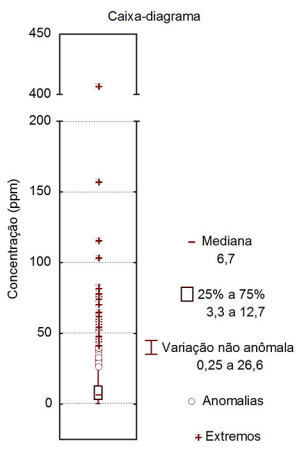


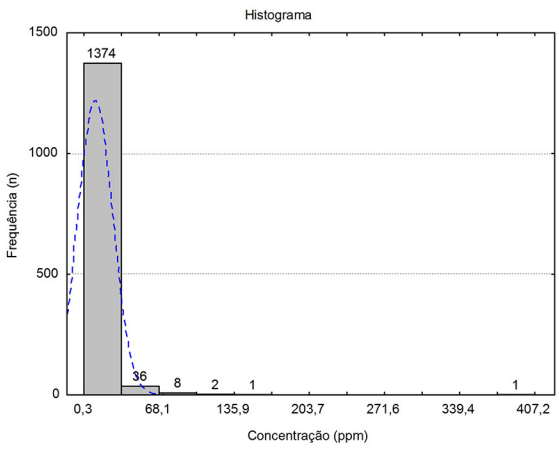
Estrôncio (ppm)

- <0,5 a 3,3
- 3,4 a 6,7
- 6,8 a 12,7
- 12,8 a 26,8
- 26,9 a 407,2

Legenda

- Cidade
- Rio



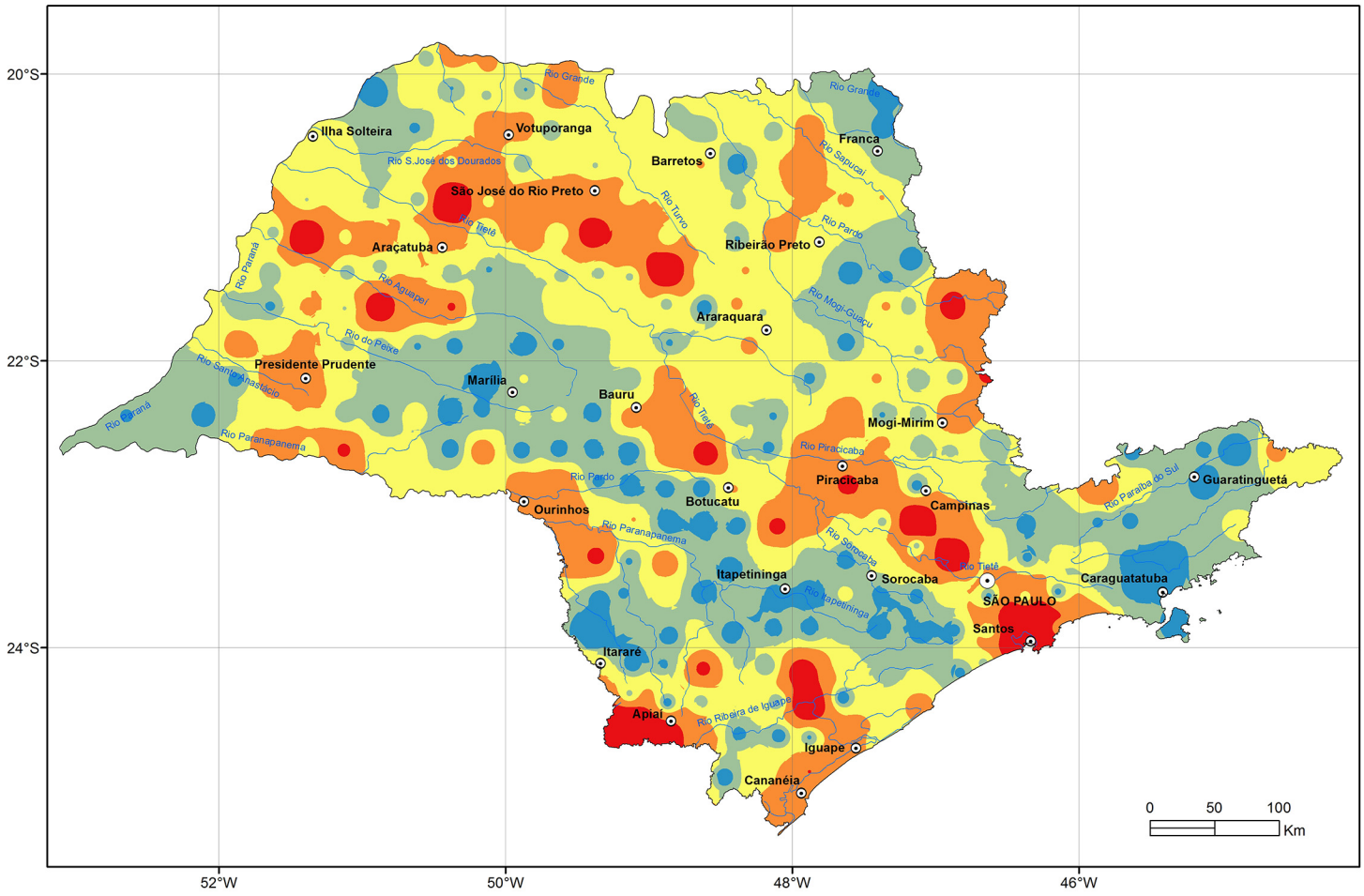


Estatística Descritiva

Elemento	Sr
Limite de detecção (LD)	0,5 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1418
Valor mínimo	<0,5
Valor máximo	407,2
Média	10,4
Mediana	6,7
Variância	248,2
Desvio padrão	15,8
Coeficiente de variação	1,5
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	320

Estrôncio Sr

Solos

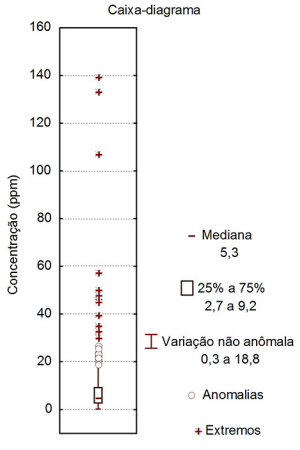


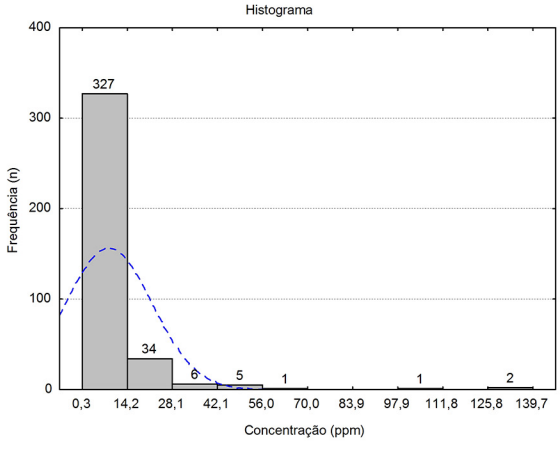
Estrôncio (ppm)

- <0,5 a 2,7
- 2,8 a 5,3
- 5,4 a 9,2
- 9,3 a 19,0
- 19,1 a 139,7

Legenda

- Cidade
- Rio



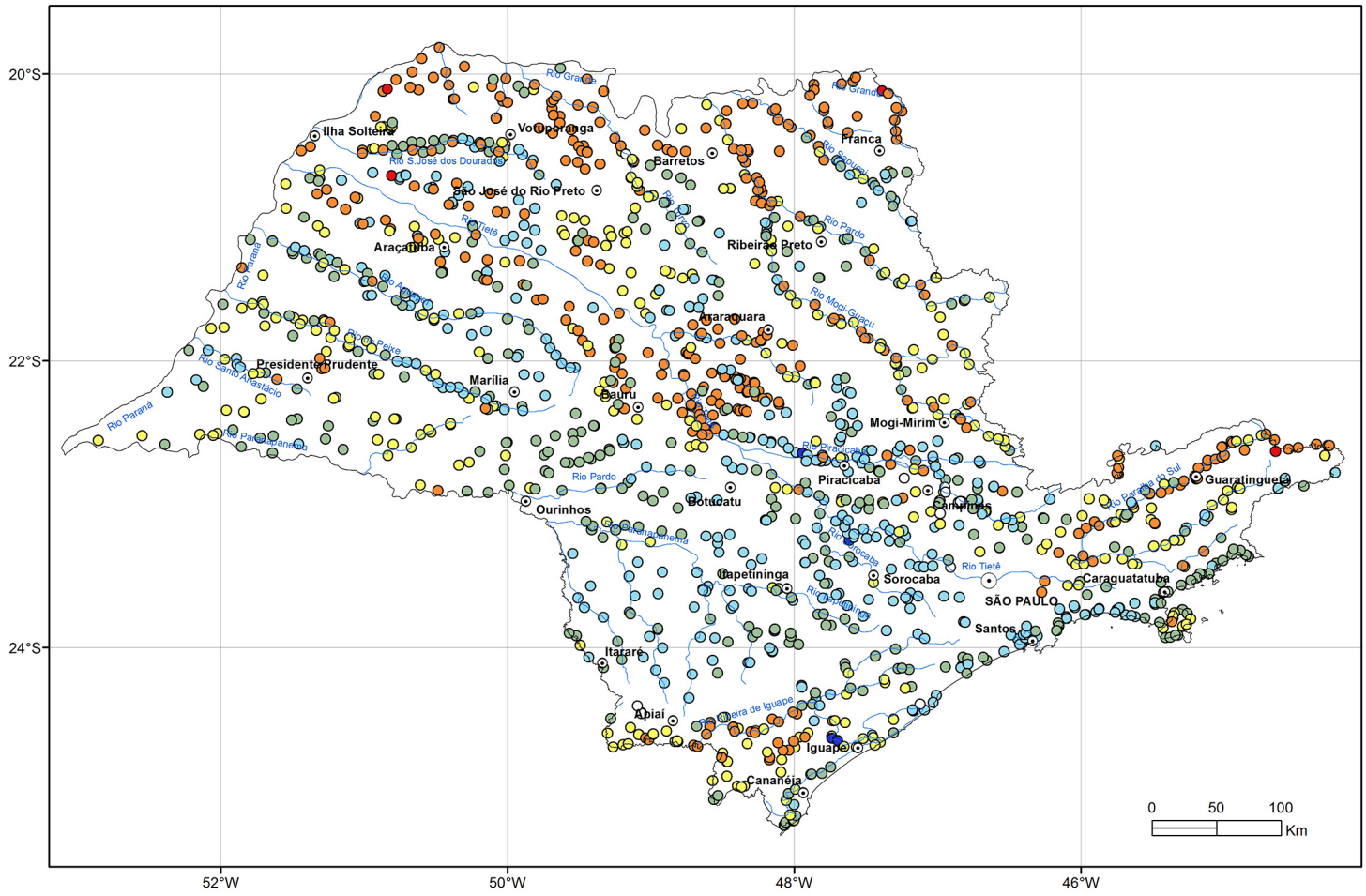


Estatística Descritiva

Elemento	Sr
Limite de Detecção (LD)	0,5 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	374
Mediana	5,3
Valor Mínimo	<0,5
Valor Máximo	139,7
Média	8,5
Variância	179,5
Desvio Padrão	13,4
Coeficiente de Variação	1,6
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	320

Temperatura - T

Águas

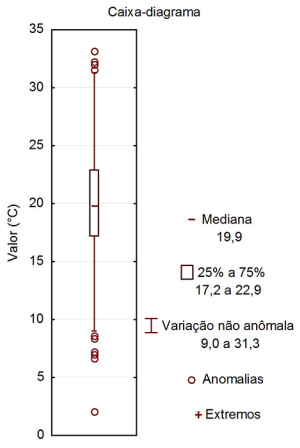


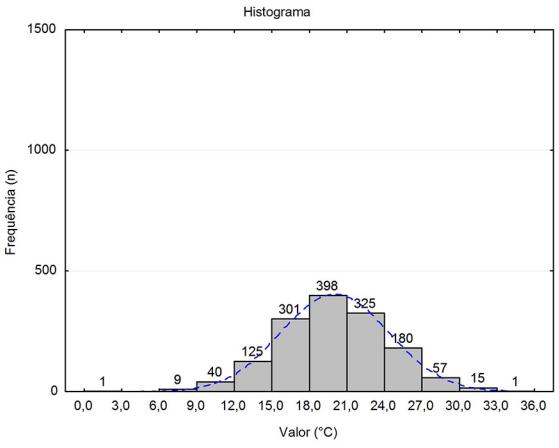
T

- sem análise
- 2,1 a 8,7
- 8,8 a 17,2
- 17,3 a 19,9
- 20,0 a 22,9
- 23,0 a 31,5
- 31,5 a 33,2

Legenda

- Cidade
- Rio

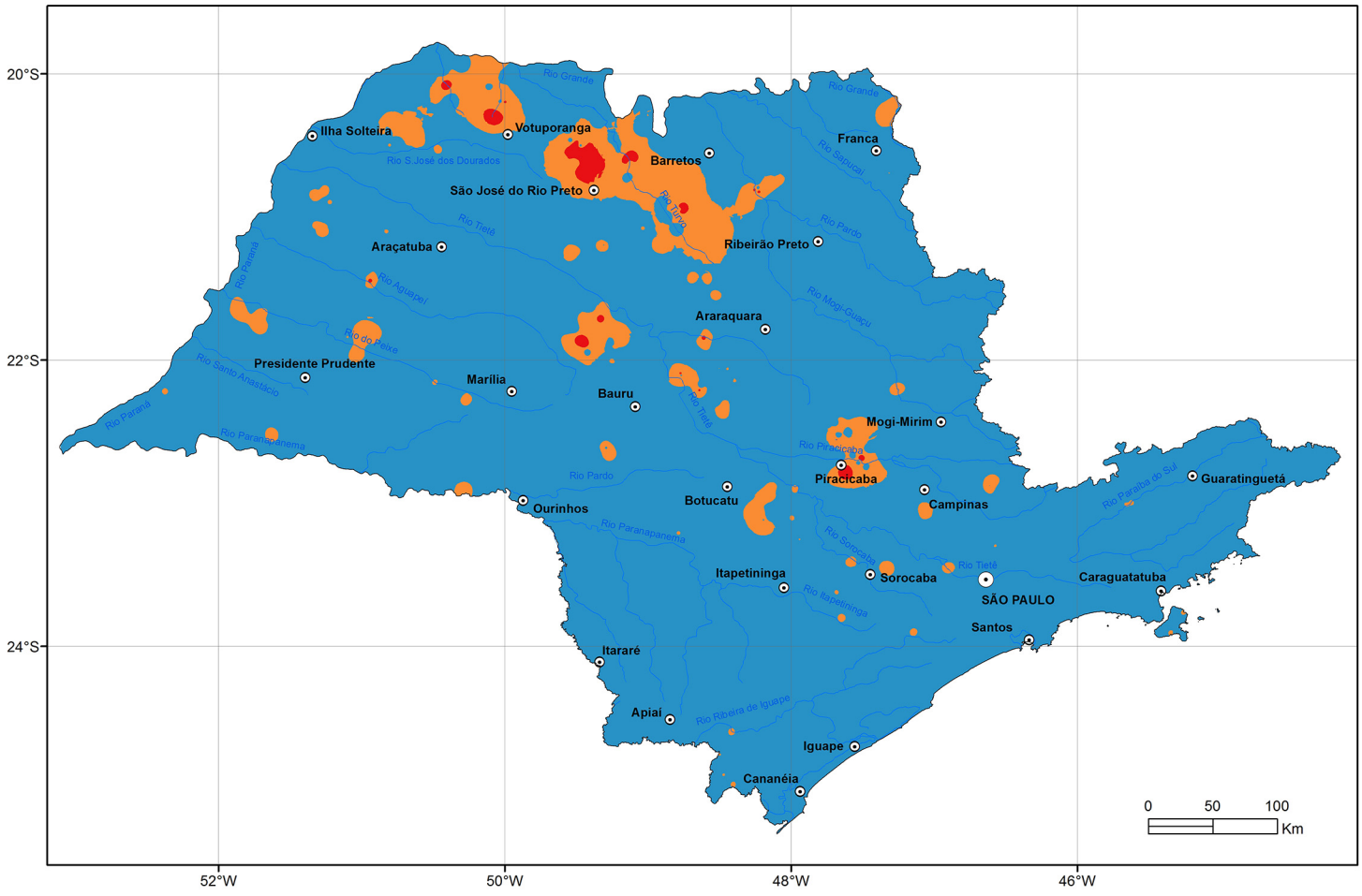




Estatística Descritiva

Parâmetro	T
Intervalo de medida	-10 a 110°C
Resolução	0,1
Número de medidas	1452
Valor Mínimo	2,1
Valor Máximo	33,2
Média	19,9
Mediana	19,9
Variância	18,6
Desvio Padrão	4,3
Coeficiente de Variação	0,2
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência consumo humano	-

Tântalo Ta Sedimentos



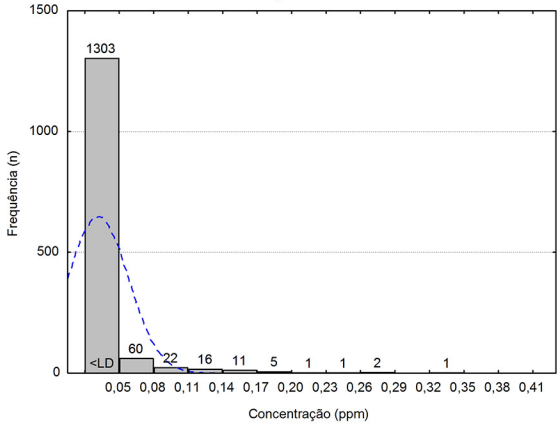
Legenda

- Cidade
- Rio

Tântalo (ppm)

- <0,05
- 0,05 a 0,13
- 0,14 a 0,33

Histograma

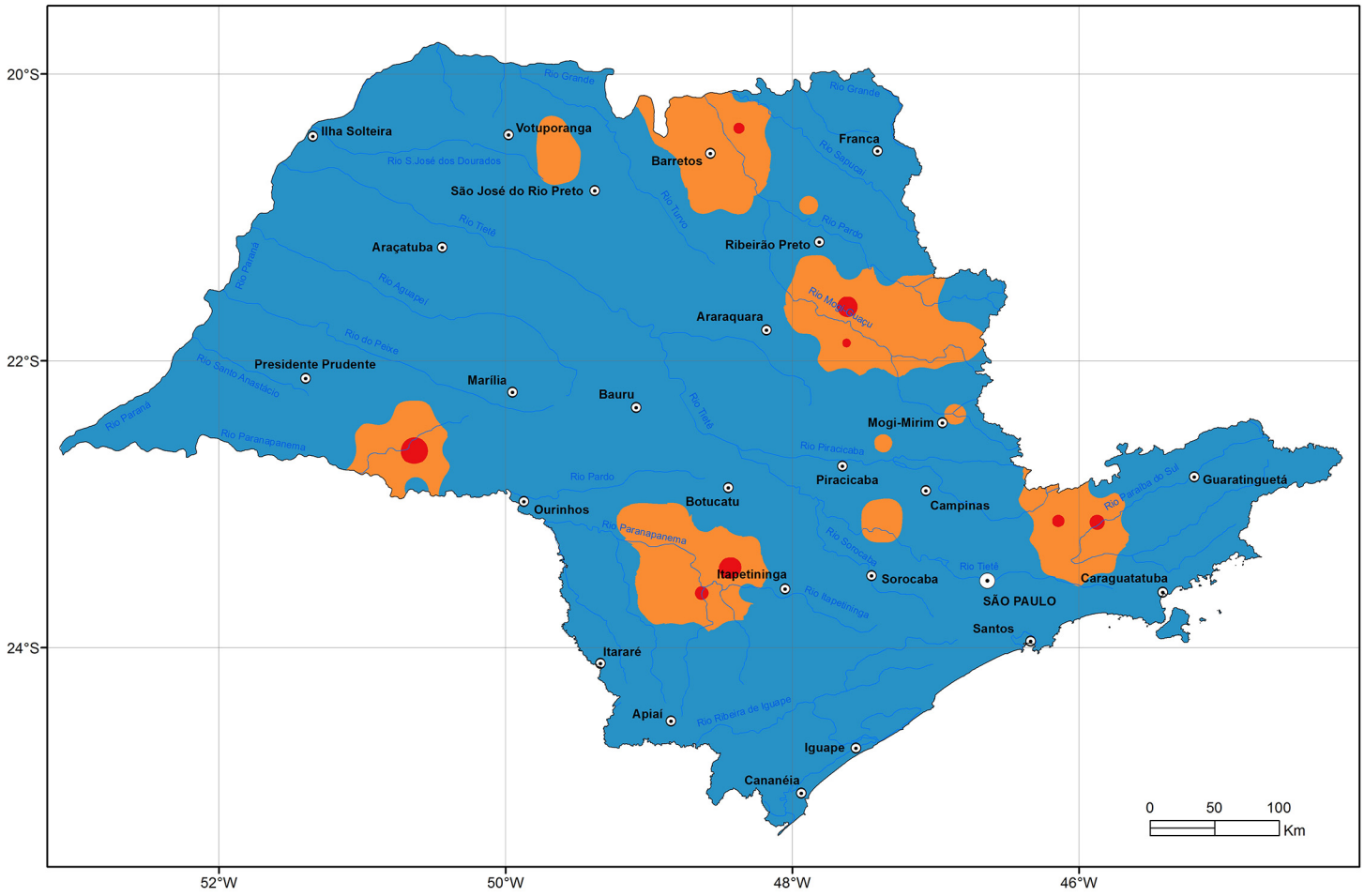


Estatística Descritiva

Elemento	Ta
Limite de detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	119
Valor mínimo	<0,05
Valor máximo	0,33
Média	<0,05
Mediana	<0,05
Percentil 75	<0,05
Percentil 90	<0,05
Percentil 98	0,13
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	0,9

Tântalo Ta

Solos



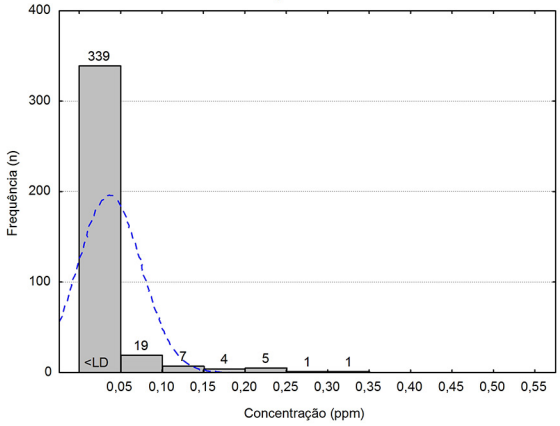
Legenda

- Cidade
- Rio

Tântalo (ppm)

- <0,05
- 0,05 a 0,19
- 0,20 a 0,34

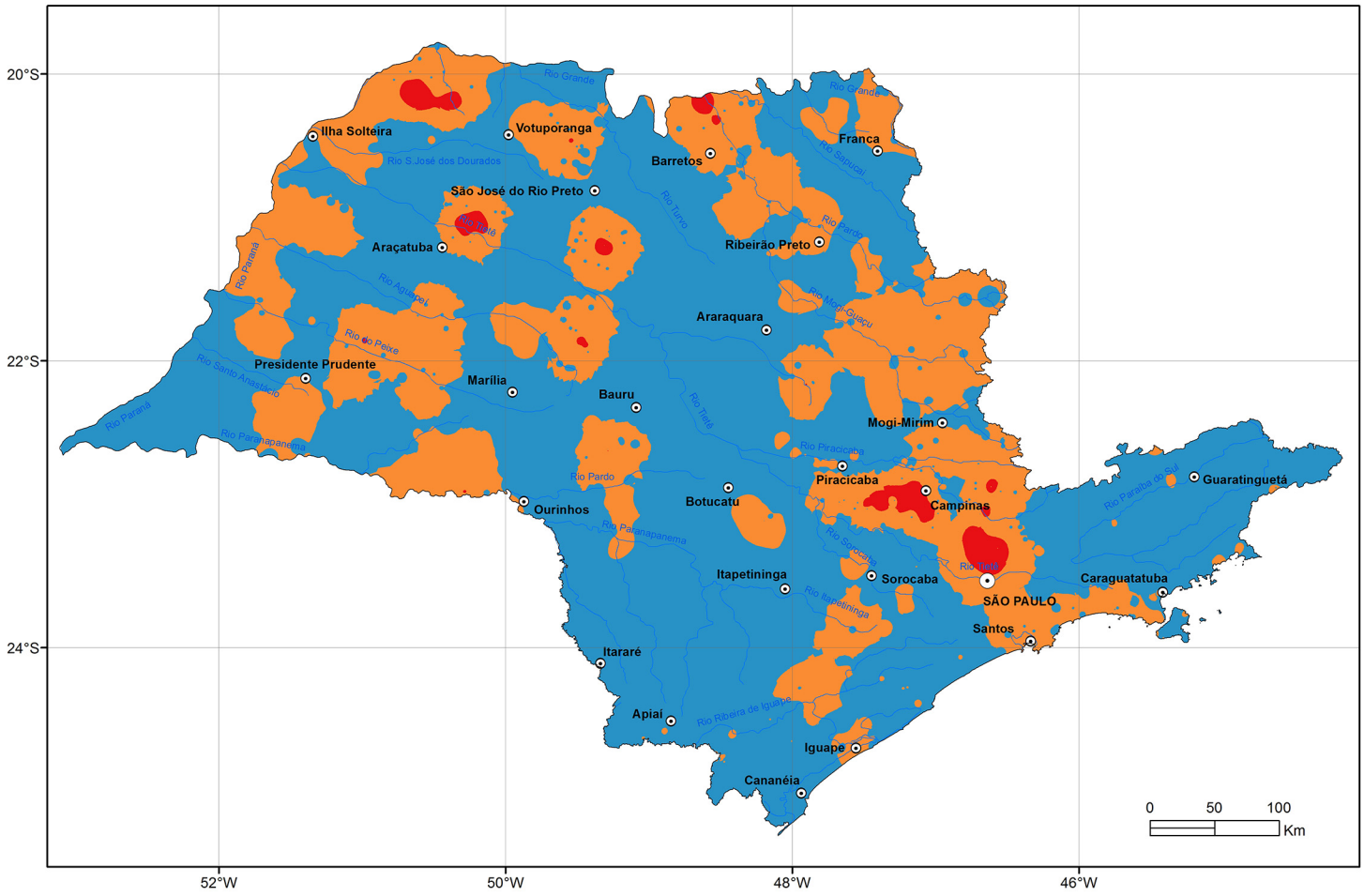
Histograma



Estatística Descritiva

Elemento	Ta
Limite de Detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	37
Valor Mínimo	<0,05
Valor Máximo	0,34
Média	<0,05
Mediana	<0,05
Percentil 75	<0,05
Percentil 90	<0,05
Percentil 98	0,19
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao,2003)	0,9

Telúrio Te Sedimentos

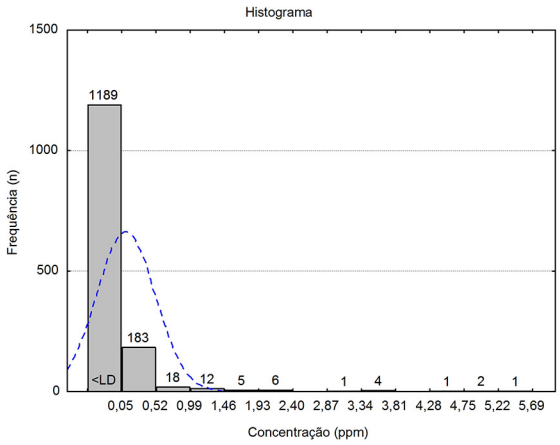


Legenda

- Cidade
- Rio

Telúrio (ppm)

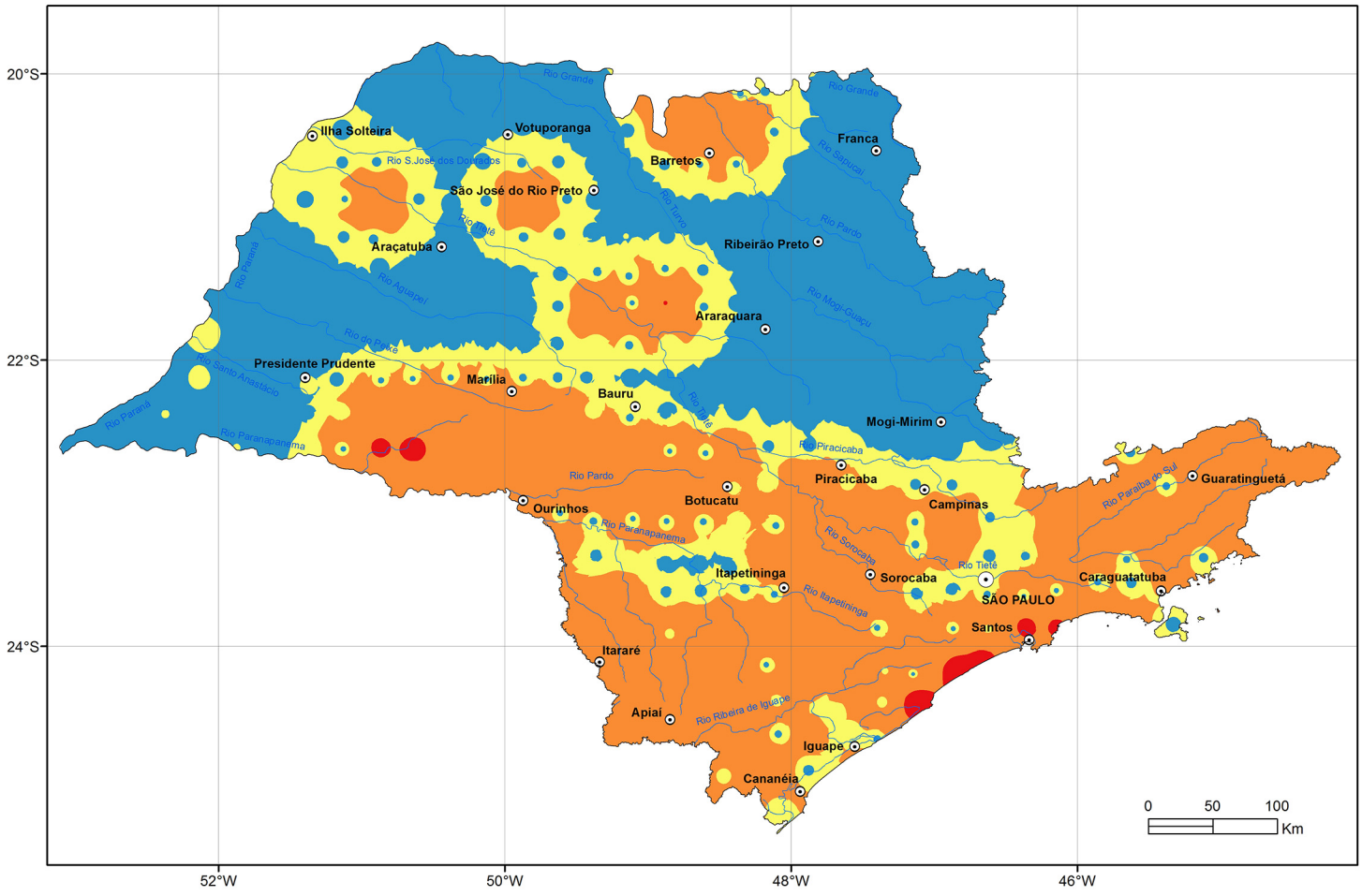
- <0,05
- 0,05 a 1,12
- 1,13 a 5,65



Estatística Descritiva

Elemento	Te
Limite de detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	233
Valor mínimo	<0,05
Valor máximo	5,65
Média	0,10
Mediana	<0,05
Percentil 75	<0,05
Percentil 90	0,09
Percentil 98	1,12
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Wedepohl, 1995)	0,005

Telúrio Te Solos



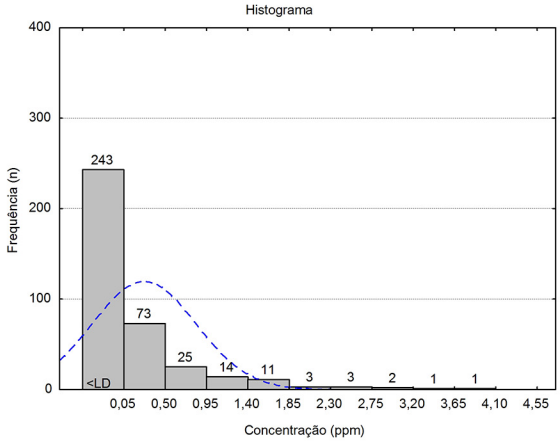
Legenda

- Cidade
- Rio

Telúrio (ppm)

- <0,05
- 0,05 a 0,16
- 0,17 a 2,14
- 2,15 a 4,08

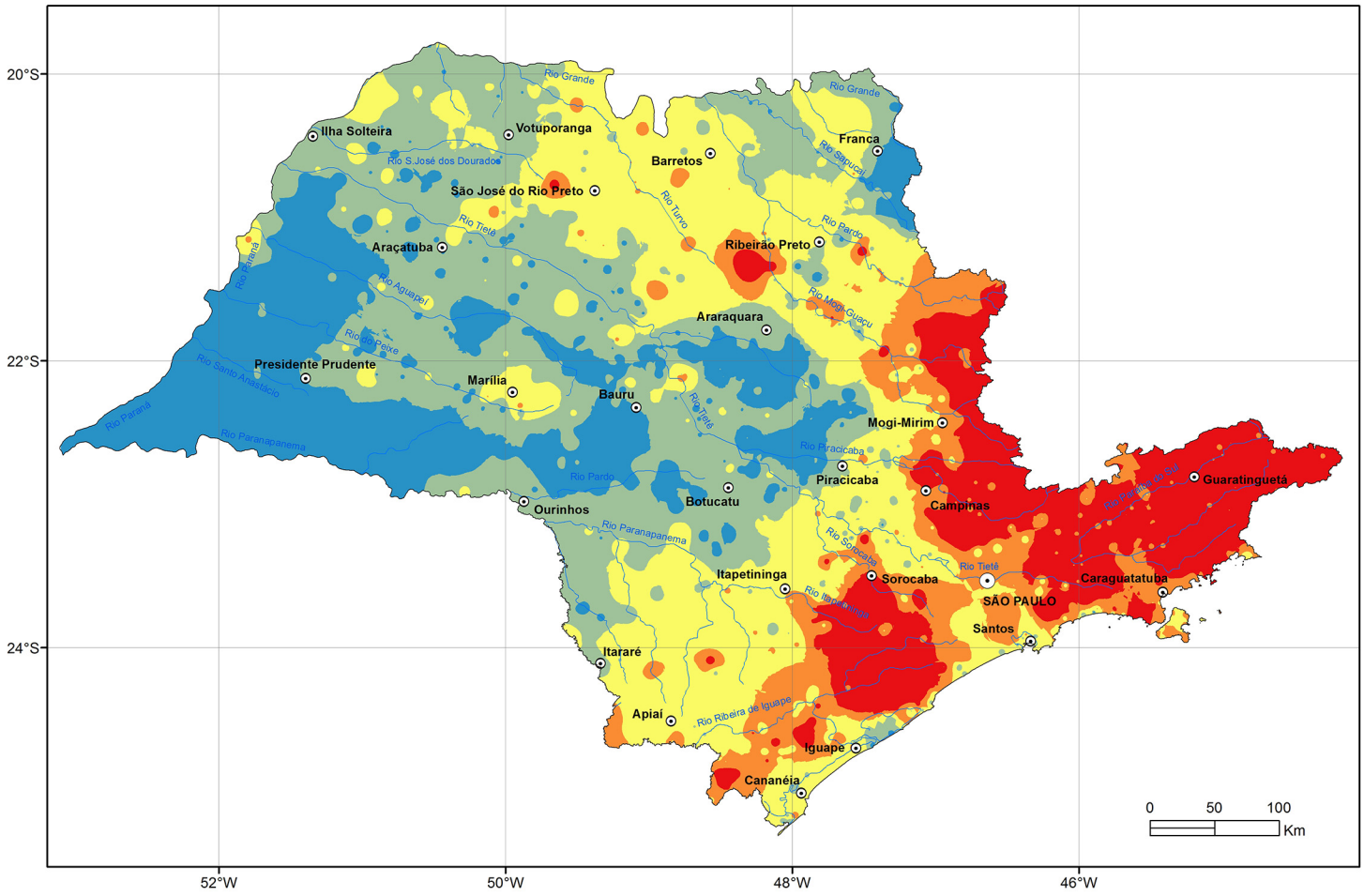
Histograma



Estatística Descritiva

Elemento	Te
Limite de Detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	133
Valor Mínimo	<0,05
Valor Máximo	4,08
Média	0,26
Mediana	<0,05
Percentil 75	0,16
Percentil 90	0,87
Percentil 98	2,14
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Wedepohl, 1995)	0,005

Tório Th Sedimentos

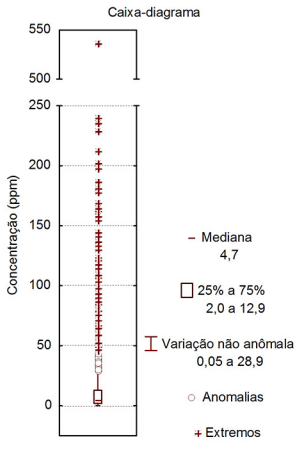


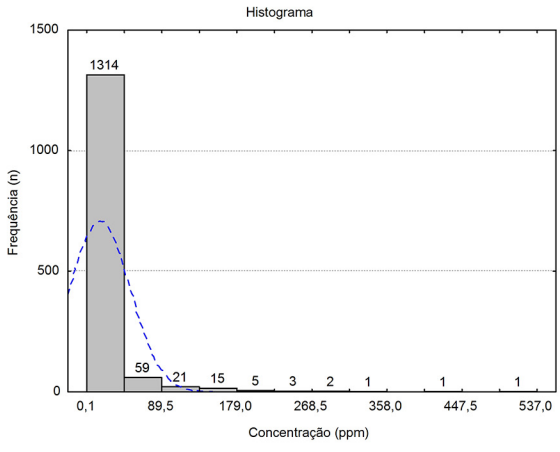
Tório (ppm)

- <0,1 a 2,0
- 2,1 a 4,7
- 4,8 a 12,9
- 13,0 a 29,2
- 29,3 a 537,0

Legenda

- Cidade
- Rio

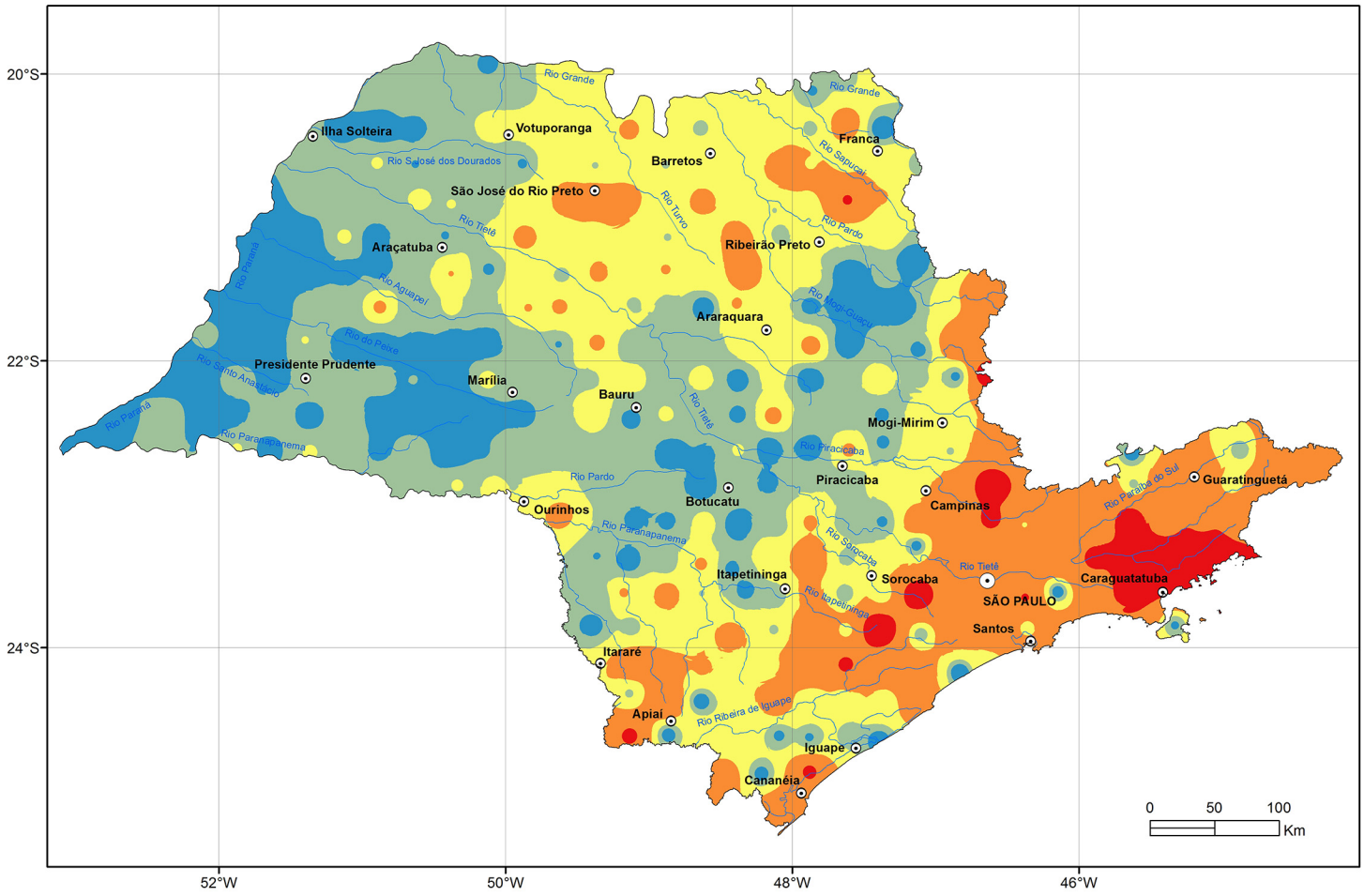




Estatística Descritiva

Elemento	Th
Limite de detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1420
Valor mínimo	<0,1
Valor máximo	537,0
Média	15,6
Mediana	4,7
Variância	1.287,5
Desvio padrão	35,9
Coeficiente de variação	2,3
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	10,5

Tório Th Solos

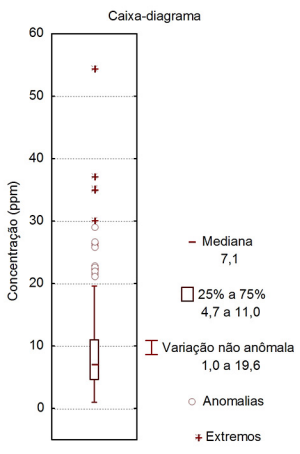


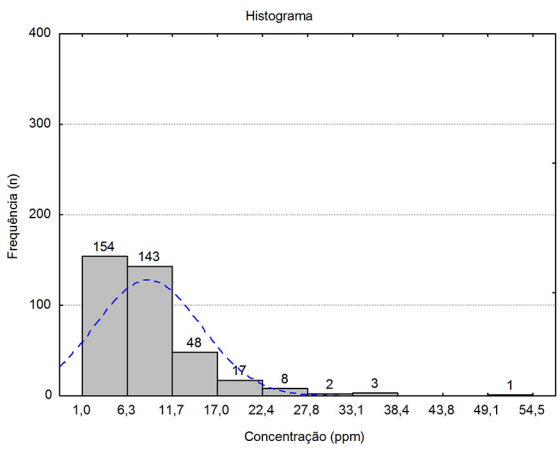
Tório (ppm)

- 1,0 a 4,7
- 4,8 a 7,1
- 7,2 a 11,0
- 11,1 a 20,5
- 20,6 a 54,5

Legenda

- Cidade
- Rio



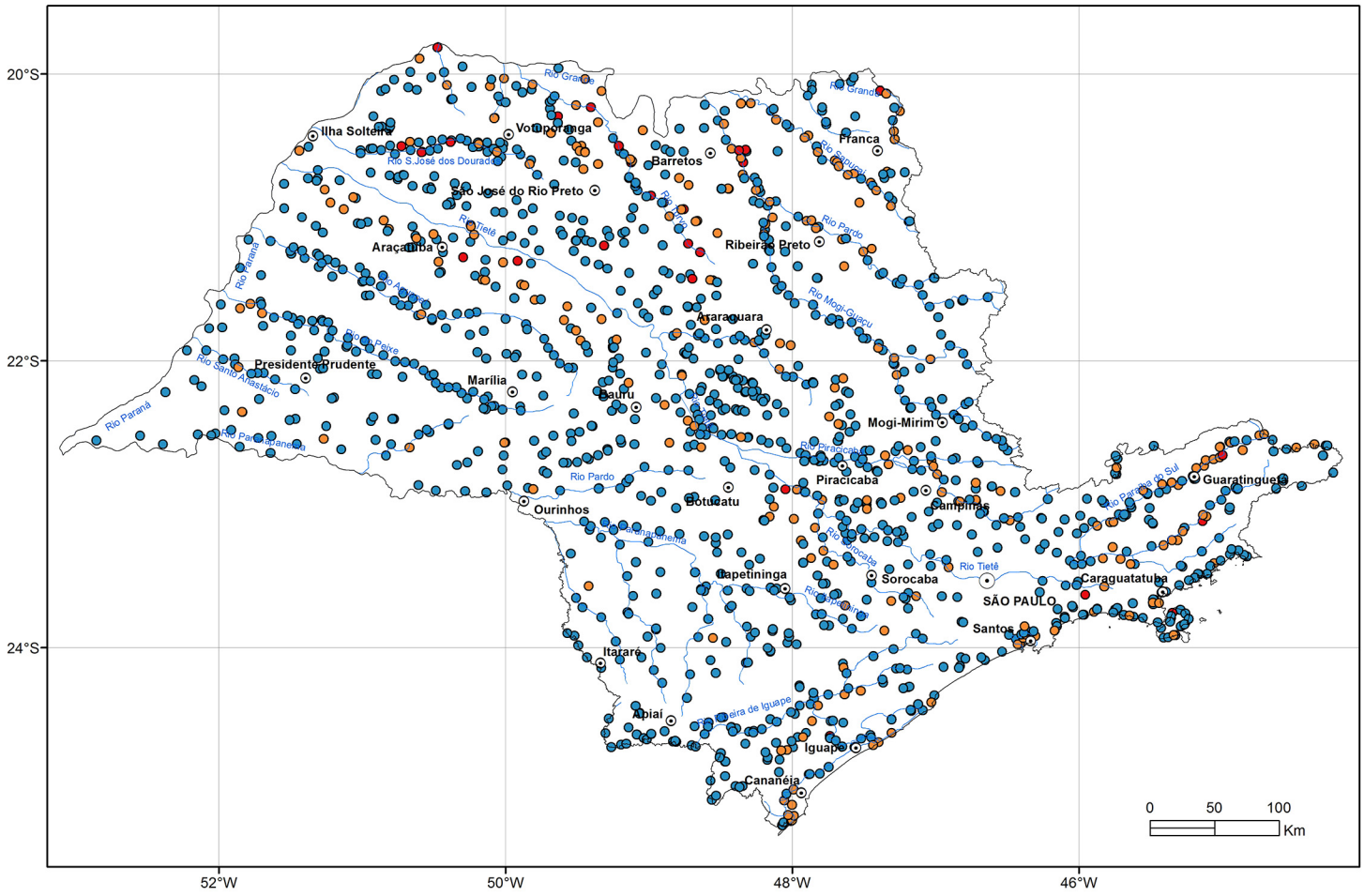


Estatística Descritiva

Elemento	Th
Limite de Detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	7,1
Valor Mínimo	1,0
Valor Máximo	54,5
Média	8,7
Variância	39,3
Desvio Padrão	6,3
Coeficiente de Variação	0,7
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	10,5

Titânio Ti

Águas

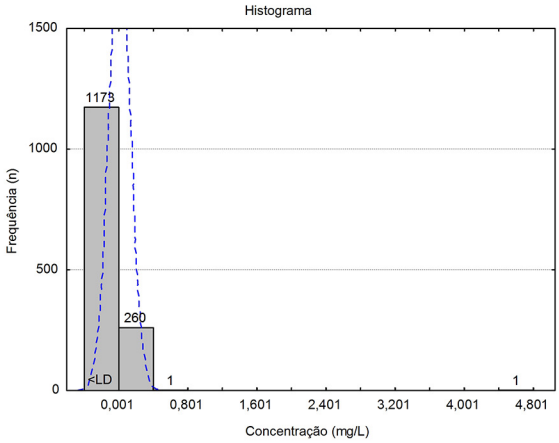


Legenda

- Cidade
- Rio

Titânio (mg/L)

- **<0,001**
- **0,001 a 0,035**
- **0,036 a 4,700**

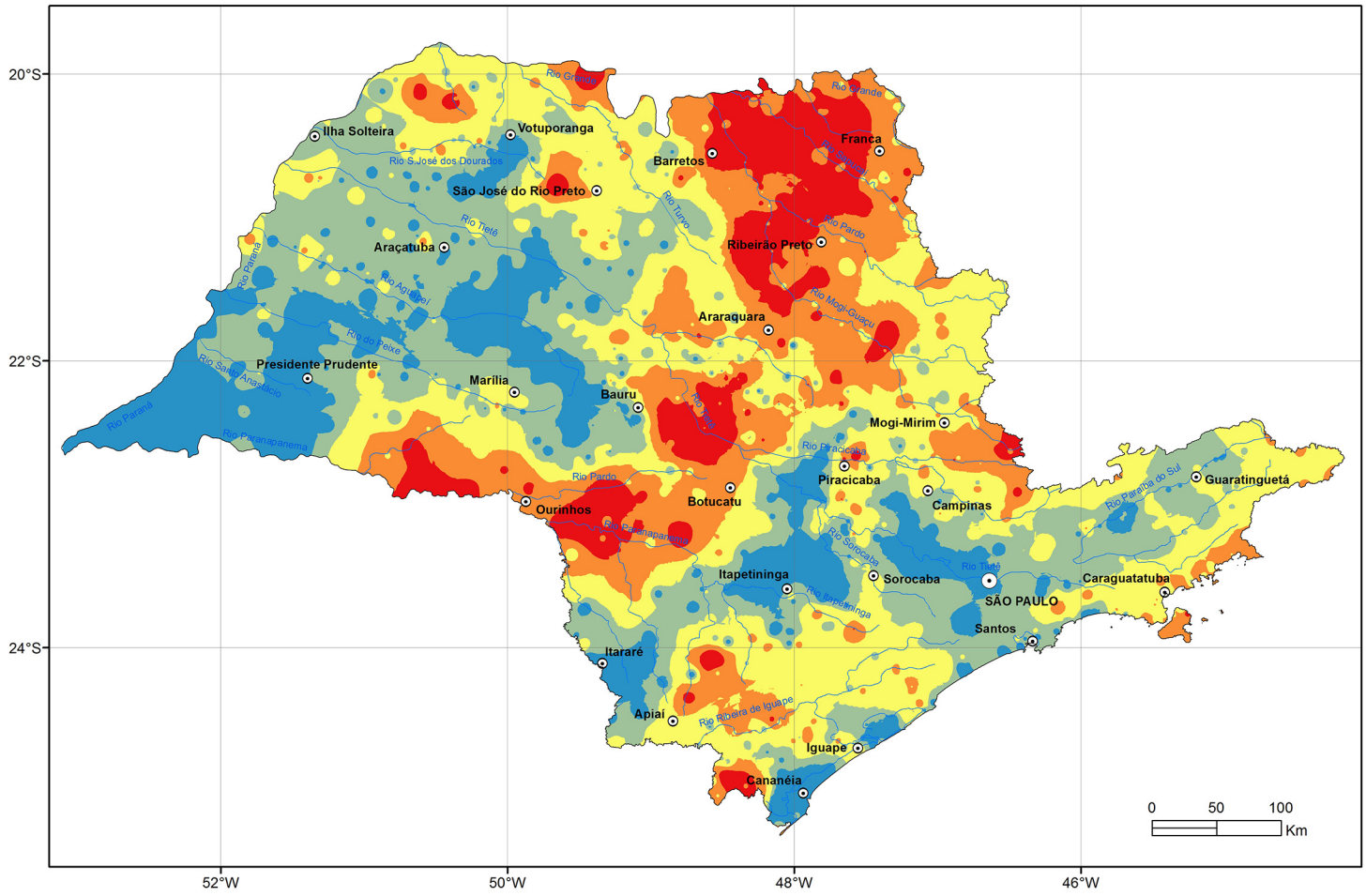


Estatística Descritiva

Elemento	Ti
Limite de Detecção (LD)	0,001 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	262
Valor Mínimo	<0,001
Valor Máximo	4,700
Média	0,008
Mediana	<0,001
Percentil 75	<0,001
Percentil 90	0,009
Percentil 98	0,035
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência consumo humano	-

Titânio Ti

Sedimentos

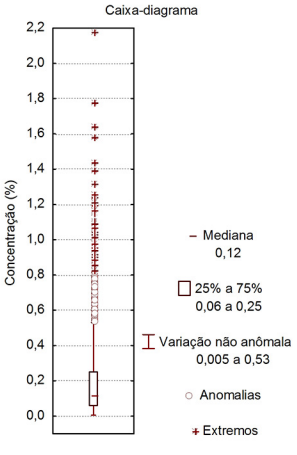


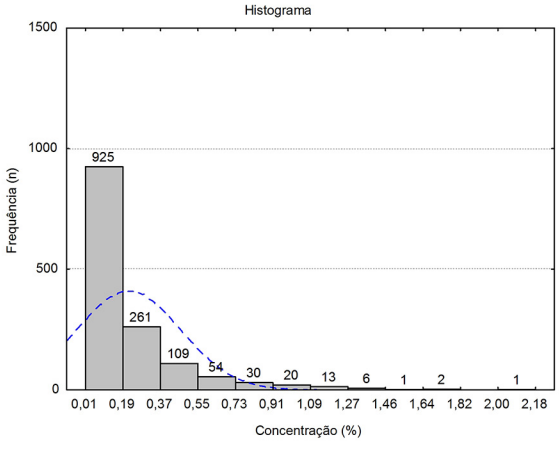
Titânio (%)

- <0,01 a 0,06
- 0,07 a 0,12
- 0,13 a 0,25
- 0,26 a 0,54
- 0,55 a 2,18

Legenda

- Cidade
- Rio



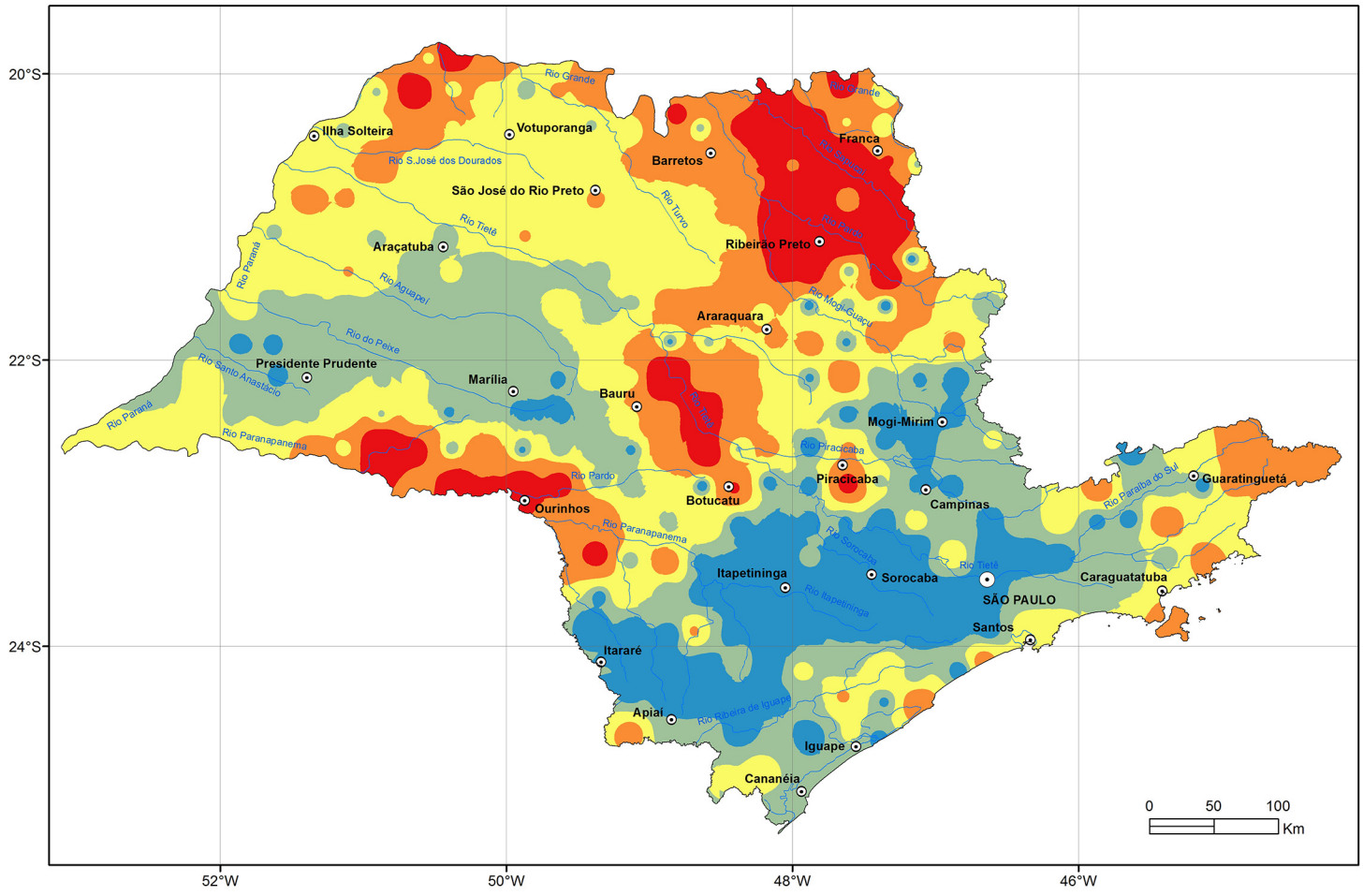


Estatística Descritiva

Elemento	Ti
Limite de detecção (LD)	0,01 (%)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1414
Valor mínimo	<0,01
Valor máximo	2,18
Média	0,21
Mediana	0,12
Variância	0,06
Desvio padrão	0,25
Coeficiente de variação	1,2
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Wedepohl, 1995)	0,31

Titânio Ti

Solos



Legenda

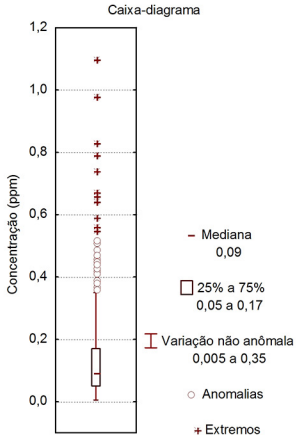
Cidade

Rio

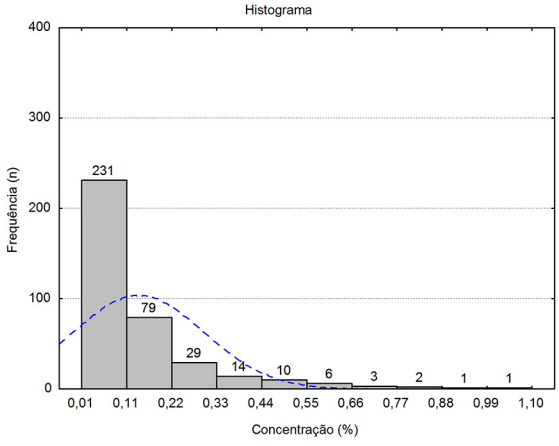
Titânio (%)

- <0,01 a 0,05
- 0,06 a 0,09
- 0,10 a 0,17
- 0,18 a 0,35
- 0,36 a 1,10

Caixa-diagrama



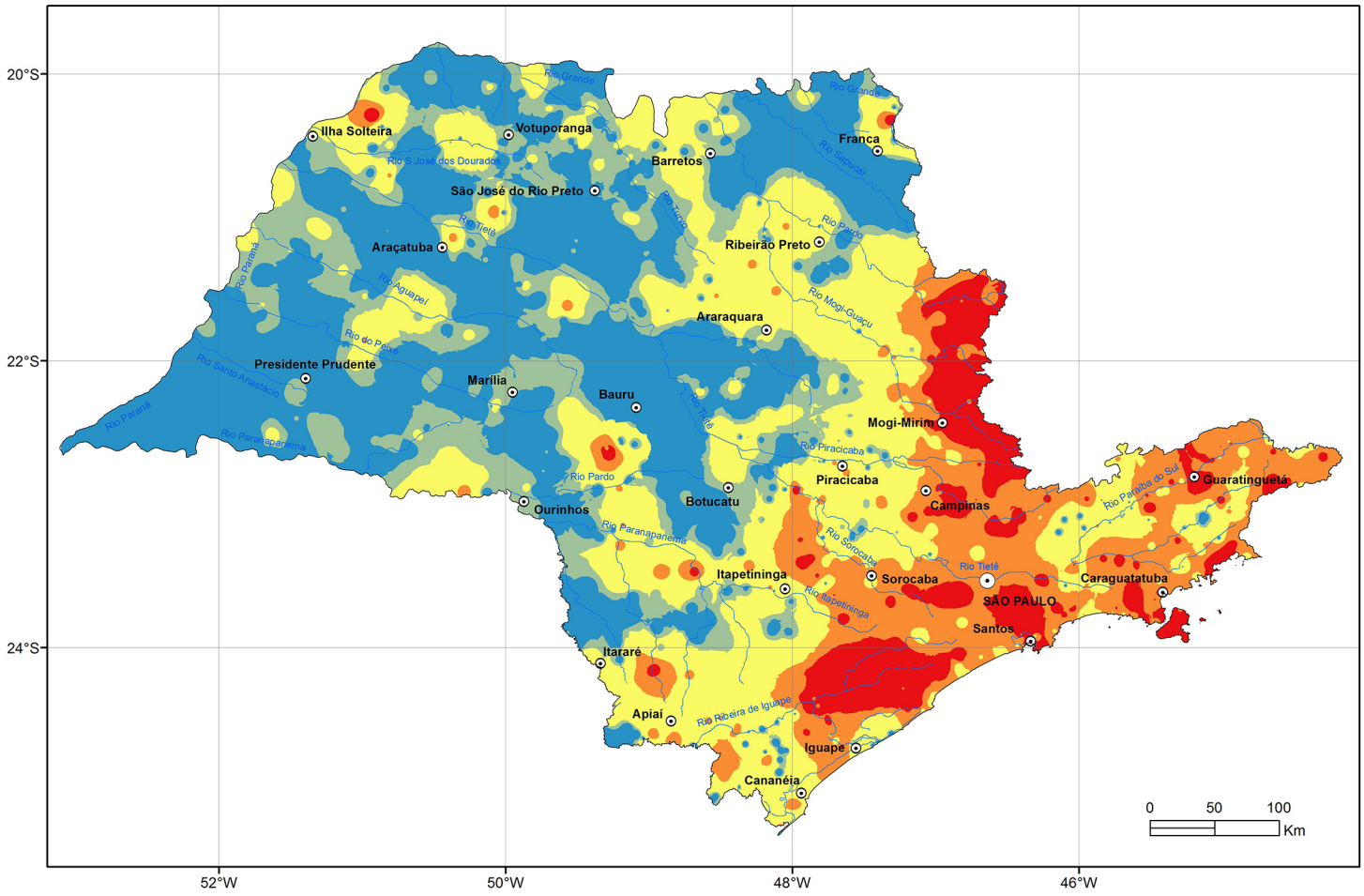
Histograma



Estatística Descritiva

Elemento	Ti
Limite de Detecção (LD)	0,01 (%)
Número de medidas	376
Resultos > LD	359
Mediana	0,09
Valor Mínimo	<0,01
Valor Máximo	1,10
Média	0,14
Variância	0,03
Desvio Padrão	0,16
Coeficiente de Variação	1,1
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Wedepohl, 1995)	0,31

Tálio Tl Sedimentos

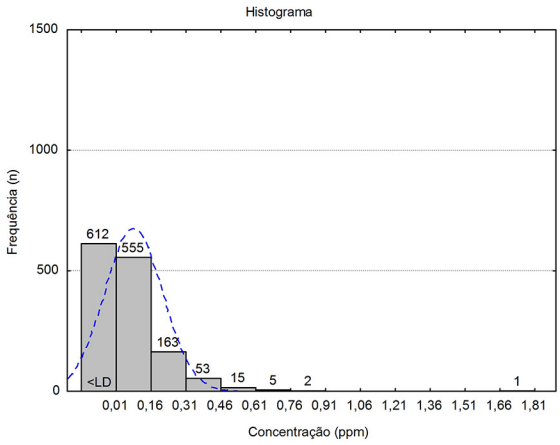


Legenda

- Cidade
- Rio

Tálio (ppm)

- <0,02
- 0,02 a 0,03
- 0,04 a 0,12
- 0,13 a 0,24
- 0,25 a 1,77

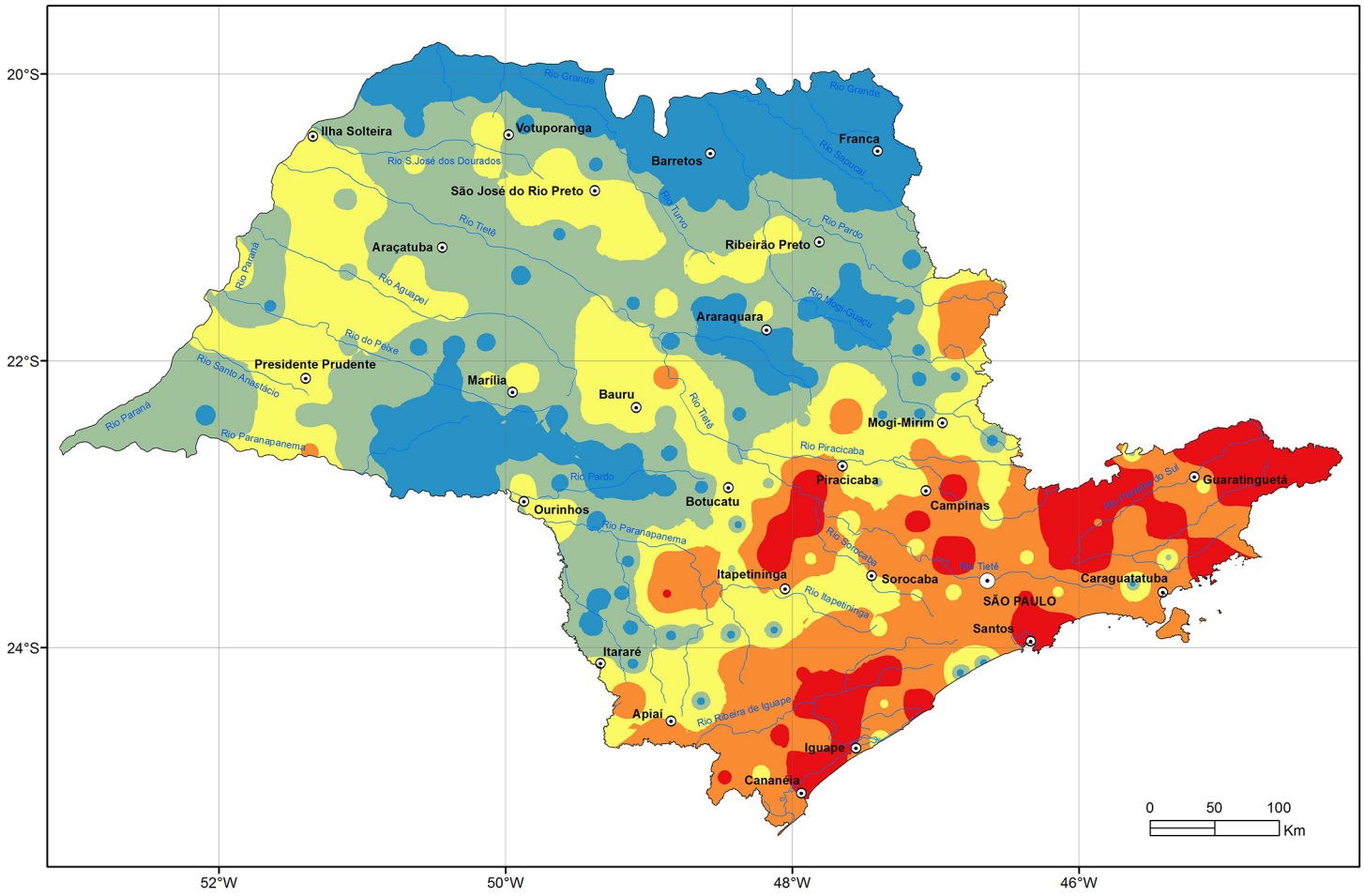


Estatística Descritiva

Elemento	Tl
Limite de detecção (LD)	0,02 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	794
Valor mínimo	<0,02
Valor máximo	1,77
Média	0,08
Mediana	0,03
Percentil 75	0,12
Percentil 90	0,24
Percentil 98	0,43
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	0,9

Tálio Tl

Solos

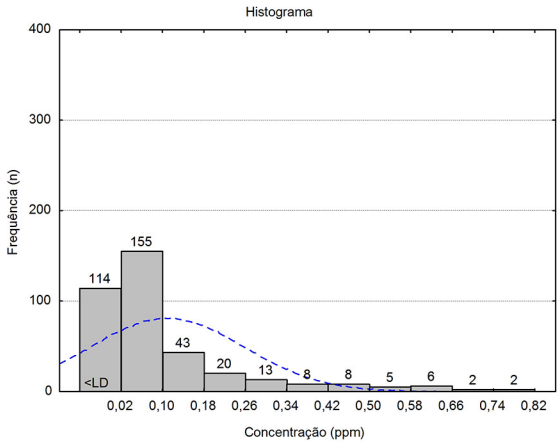


Tálio (ppm)

- <0,02
- 0,02 a 0,05
- 0,06 a 0,13
- 0,14 a 0,30
- 0,31 a 0,82

Legenda

- Cidade
- Rio

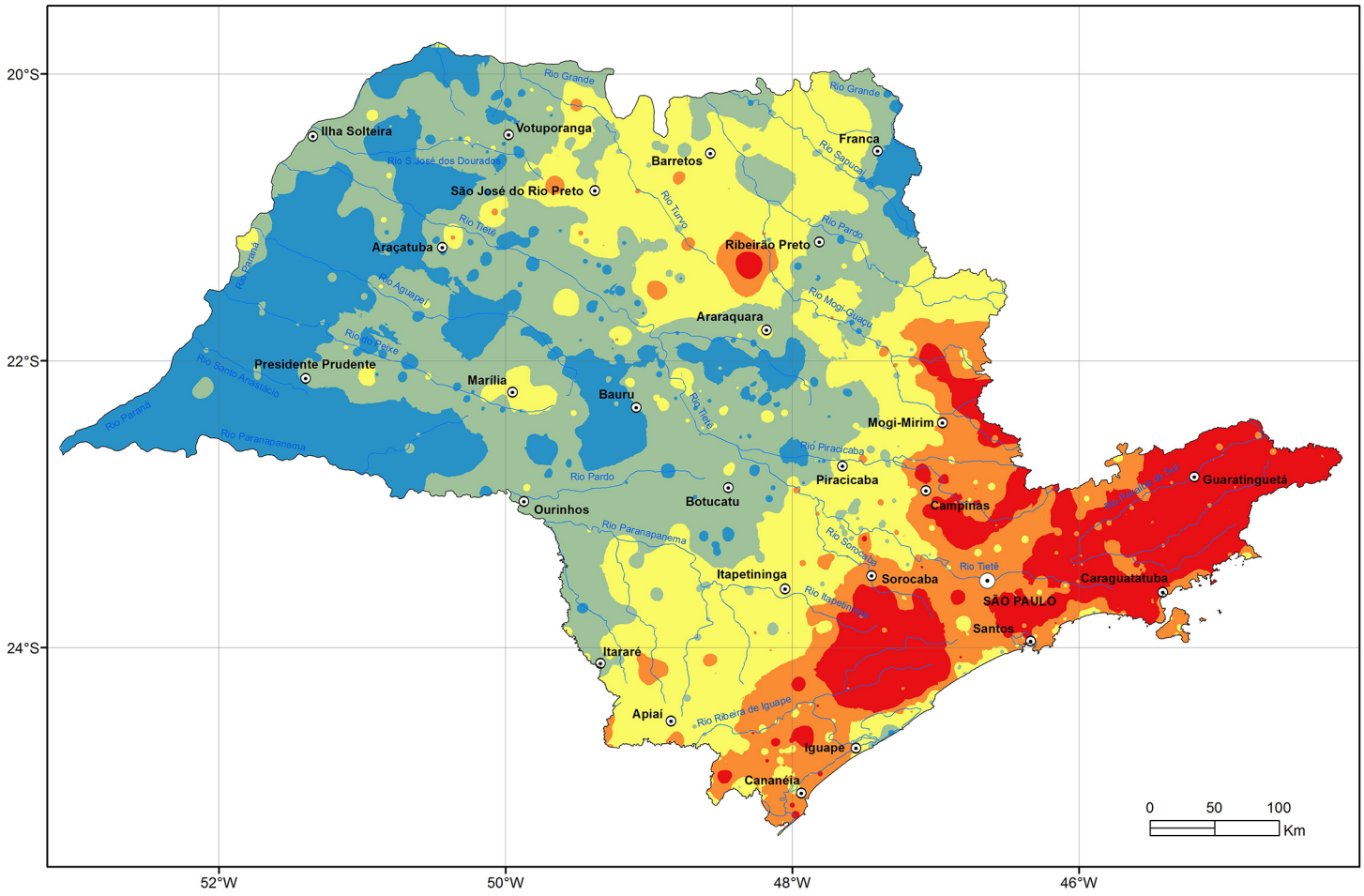


Estatística Descritiva

Elemento	Tl
Limite de Detecção (LD)	0,02 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	262
Valor Mínimo	<0,02
Valor Máximo	0,82
Média	0,11
Mediana	0,05
Percentil 75	0,13
Percentil 90	0,30
Percentil 98	0,60
Referência nacional	-
Referência internacional (Buchman, 2008)	1
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	0,9

Urânio U

Sedimentos

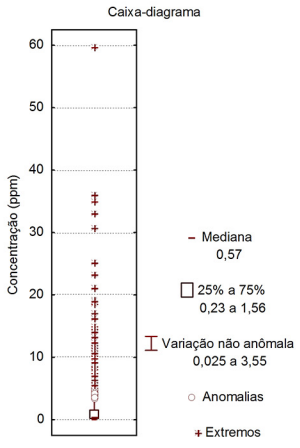


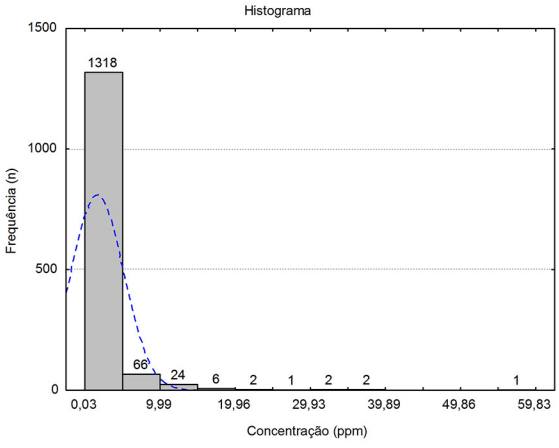
Urânio (ppm)

- <0,05 a 0,23
- 0,24 a 0,57
- 0,58 a 1,56
- 1,57 a 3,56
- 3,57 a 59,83

Legenda

- Cidade
- Rio



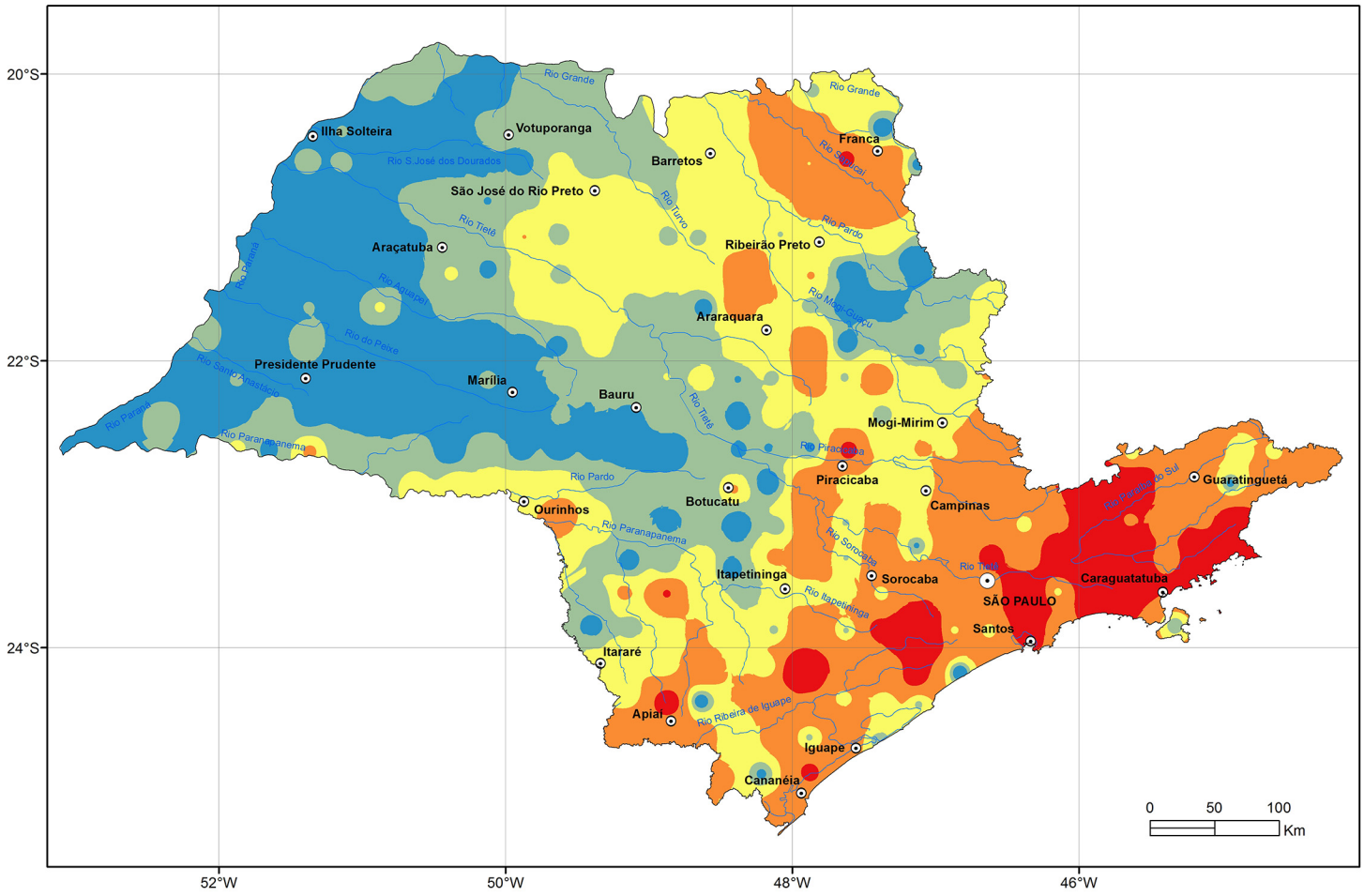


Estatística Descritiva

Elemento	U
Limite de detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1414
Valor mínimo	<0,05
Valor máximo	59,83
Média	1,65
Mediana	0,57
Variância	12,20
Desvio padrão	3,49
Coeficiente de variação	2,1
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	2,7

Urânio U

Solos

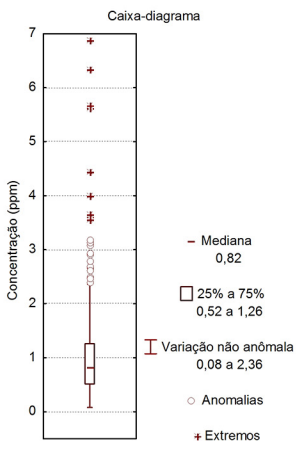


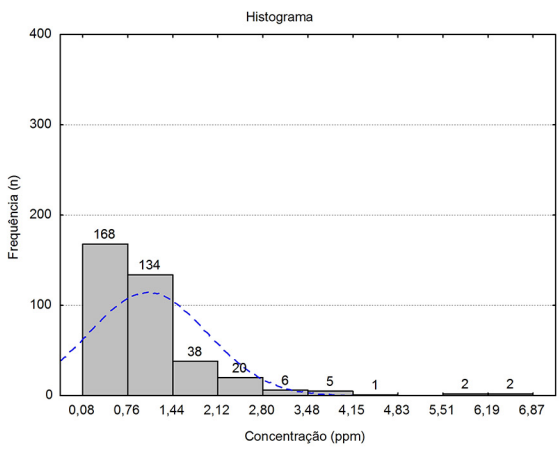
Urânio (ppm)

- 0,08 a 0,52
- 0,53 a 0,82
- 0,83 a 1,26
- 1,27 a 2,37
- 2,38 a 6,87

Legenda

- Cidade
- Rio



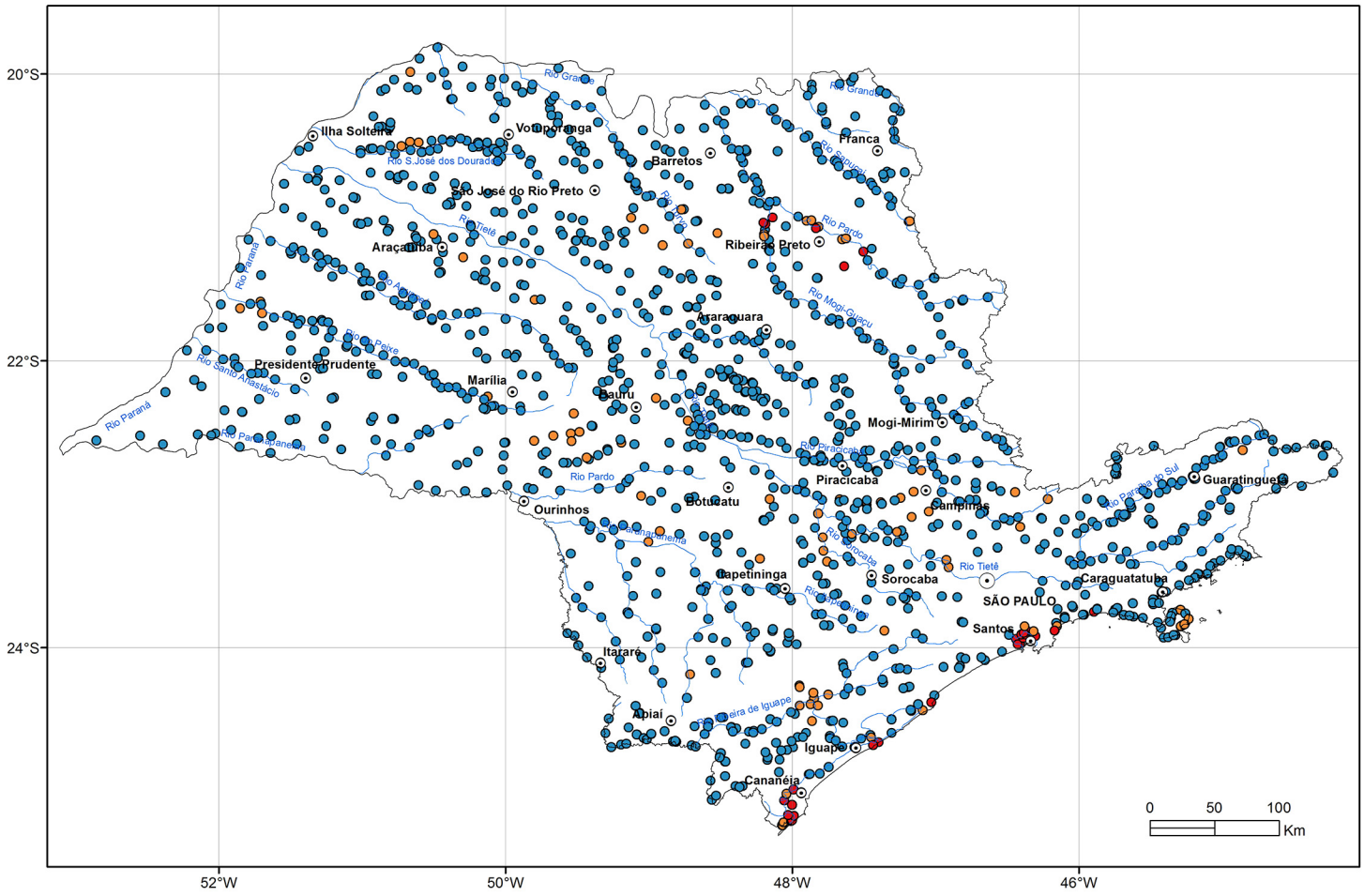


Estatística Descritiva

Elemento	U
Limite de Detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	0,82
Valor Mínimo	0,08
Valor Máximo	6,87
Média	1,06
Variância	0,80
Desvio Padrão	0,89
Coeficiente de Variação	0,8
Referência internacional (CCME, 2007)	23
Referência internacional (Buchman, 2008)	5
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	2,7

Vanádio V

Águas

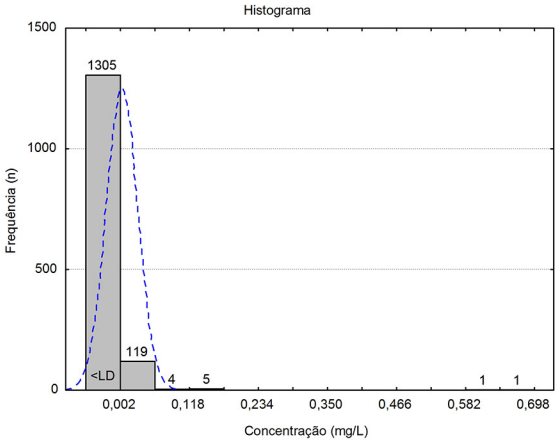


Legenda

- Cidade
- Rio

Vanádio (mg/L)

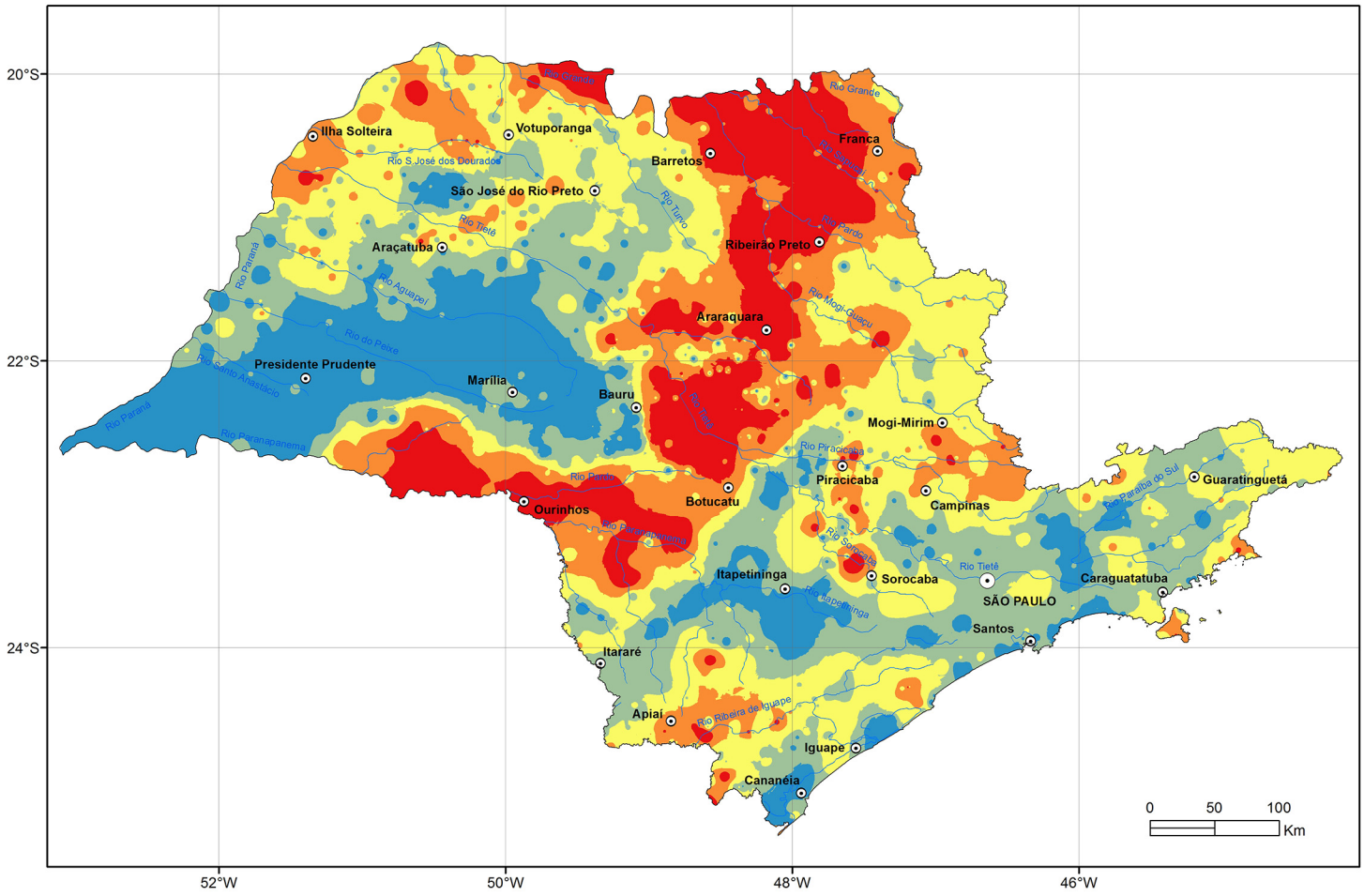
- **<0,001**
- **0,001 a 0,030**
- **0,031 a 0,690**



Estatística Descritiva

Elemento	V
Limite de Detecção (LD)	0,001 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	130
Valor Mínimo	<0,001
Valor Máximo	0,690
Média	0,004
Mediana	<0,001
Percentil 75	<0,001
Percentil 90	<0,001
Percentil 98	0,030
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,010
Referência internacional (Buchman, 2008)	0,019
Referência consumo humano (BRASIL, 2008)	0,05

Vanádio V Sedimentos

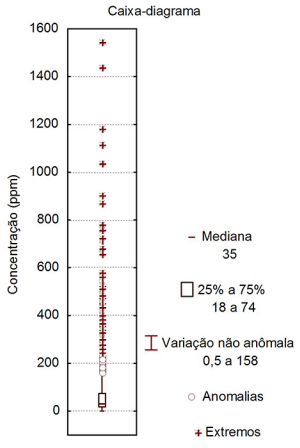


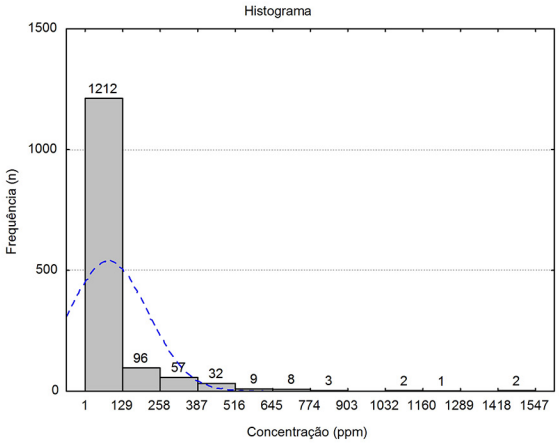
Vanádio (ppm)

- <1 a 18
- 19 a 35
- 36 a 74
- 75 a 158
- 159 a 1.547

Legenda

- Cidade
- Rio

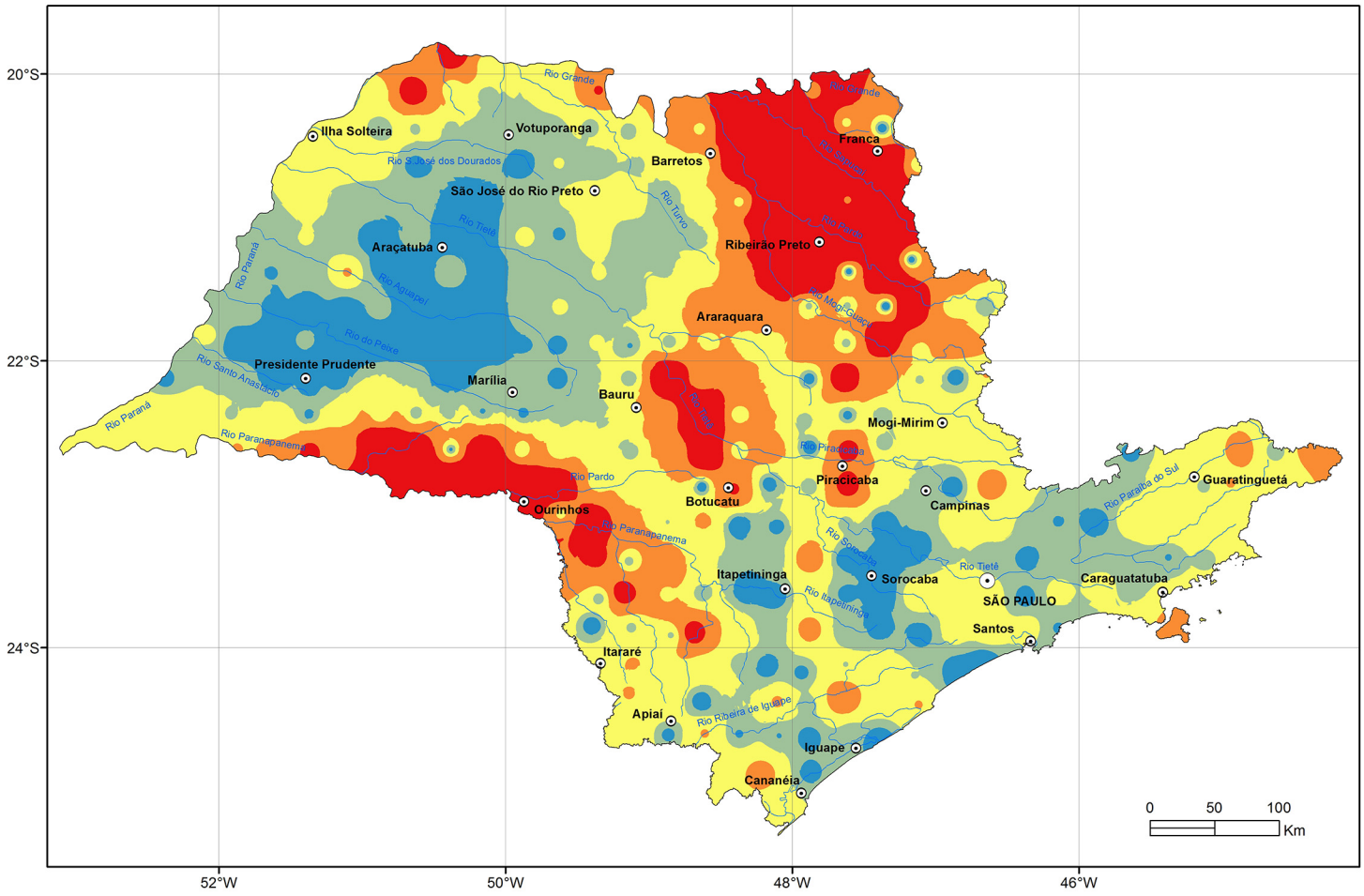




Estatística Descritiva

Elemento	V
Limite de detecção (LD)	1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1420
Valor mínimo	<1
Valor máximo	1.547
Média	80
Mediana	35
Variância	18.381
Desvio padrão	136
Coeficiente de variação	1,7
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	97

Vanádio V Solos



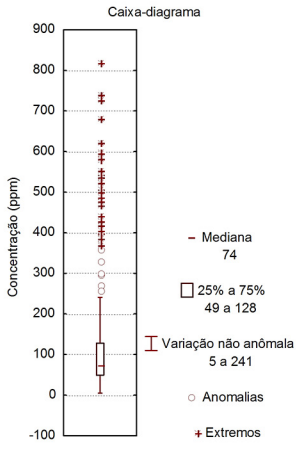
Legenda

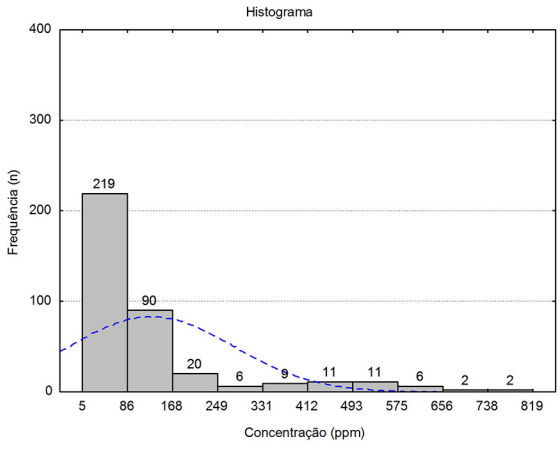
Cidade

Rio

Vanádio (ppm)

- 5 a 49
- 50 a 74
- 75 a 128
- 129 a 247
- 248 a 819

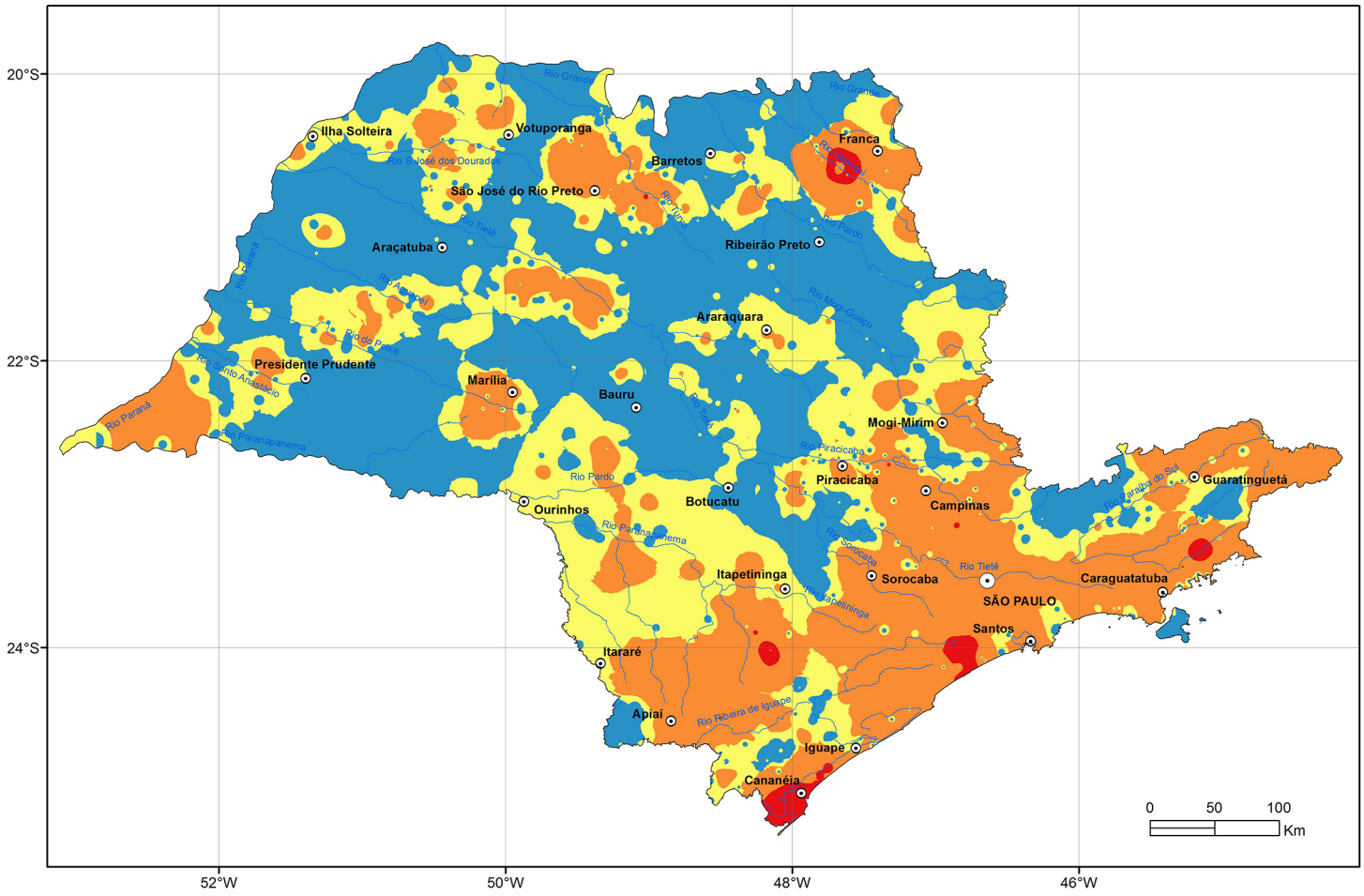




Estatística Descritiva

Elemento	V
Limite de Detecção (LD)	1 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	74
Valor Mínimo	5
Valor Máximo	819
Média	128
Variância	21.529
Desvio Padrão	147
Coeficiente de Variação	1,1
Referência internacional (CCME, 1997)	130
Referência internacional (Buchman, 2008)	42
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	97

Tungstênio W Sedimentos



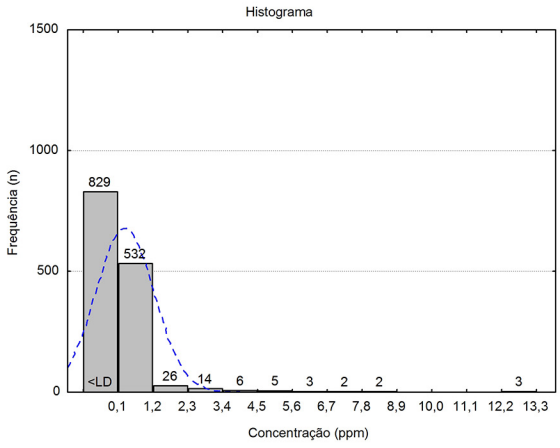
Legenda

Cidade

Rio

Tungstênio (ppm)

- <0,1
- 0,1 a 0,2
- 0,3 a 2,9
- 3,0 a 12,5

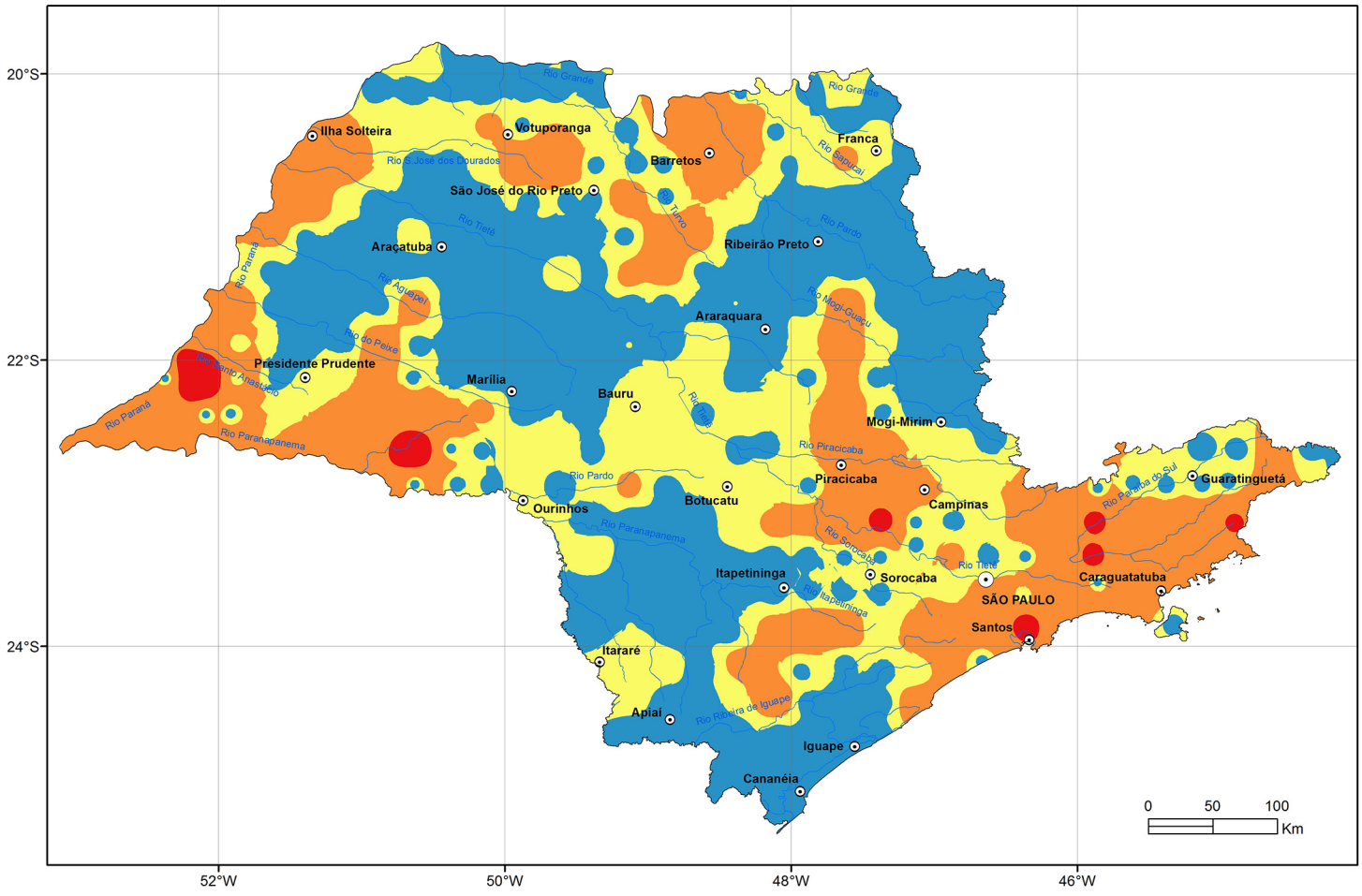


Estatística Descritiva

Elemento	W
Limite de detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	593
Valor mínimo	<0,1
Valor máximo	12,5
Média	0,3
Mediana	<0,1
Percentil 75	0,2
Percentil 90	0,5
Percentil 98	2,9
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	1,9

Tungstênio W

Solos



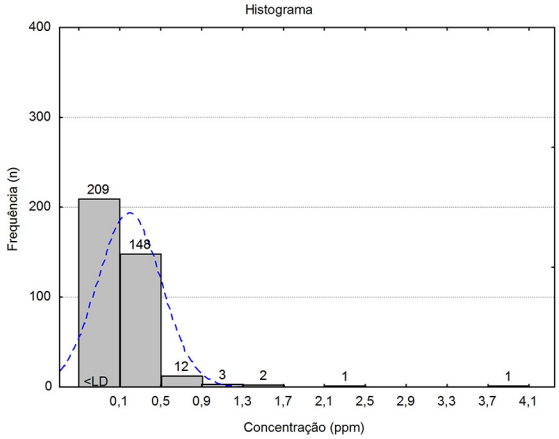
Legenda

- Cidade
- Rio

Tungstênio (ppm)

- <0,1
- 0,1 a 0,2
- 0,3 a 0,9
- 1,0 a 4,0

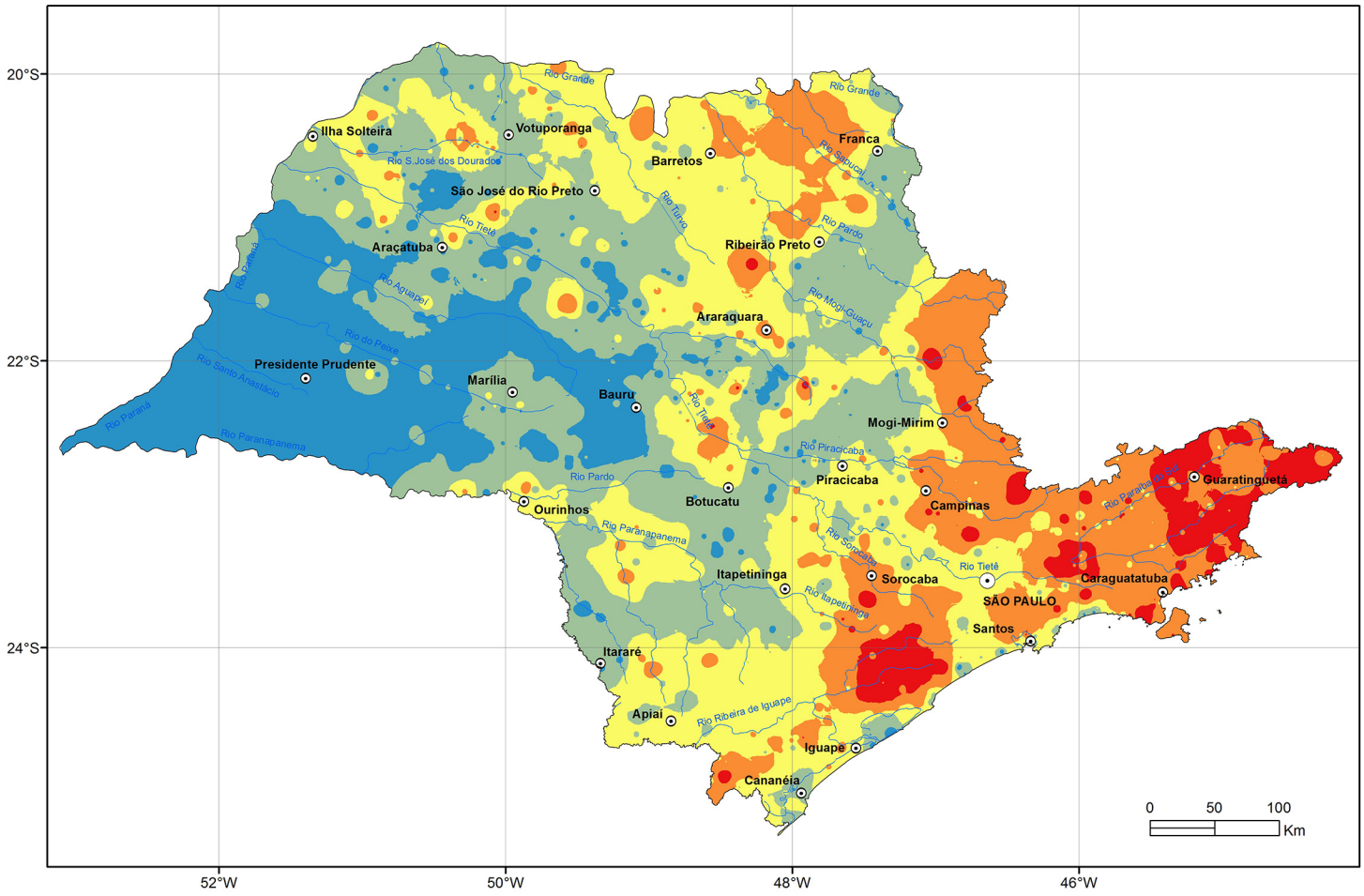
Histograma



Estatística Descritiva

Elemento	W
Limite de Detecção (LD)	0,1 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	167
Valor Mínimo	<0,1
Valor Máximo	4,0
Média	0,2
Mediana	<0,1
Percentil 75	0,2
Percentil 90	0,4
Percentil 98	0,9
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	1,9

Ítrio Y Sedimentos

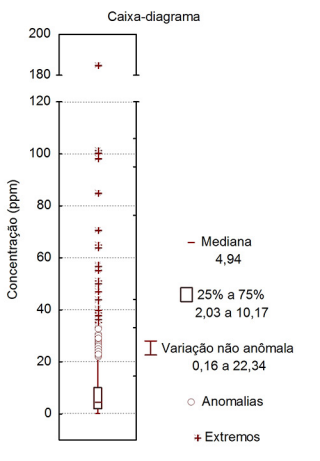


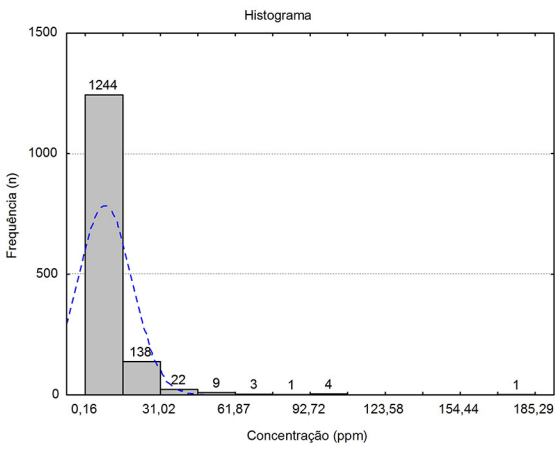
Ítrio (ppm)

- 0,16 a 2,03
- 2,04 a 4,93
- 4,94 a 10,17
- 10,18 a 22,38
- 22,39 a 185,29

Legenda

- Cidade
- Rio



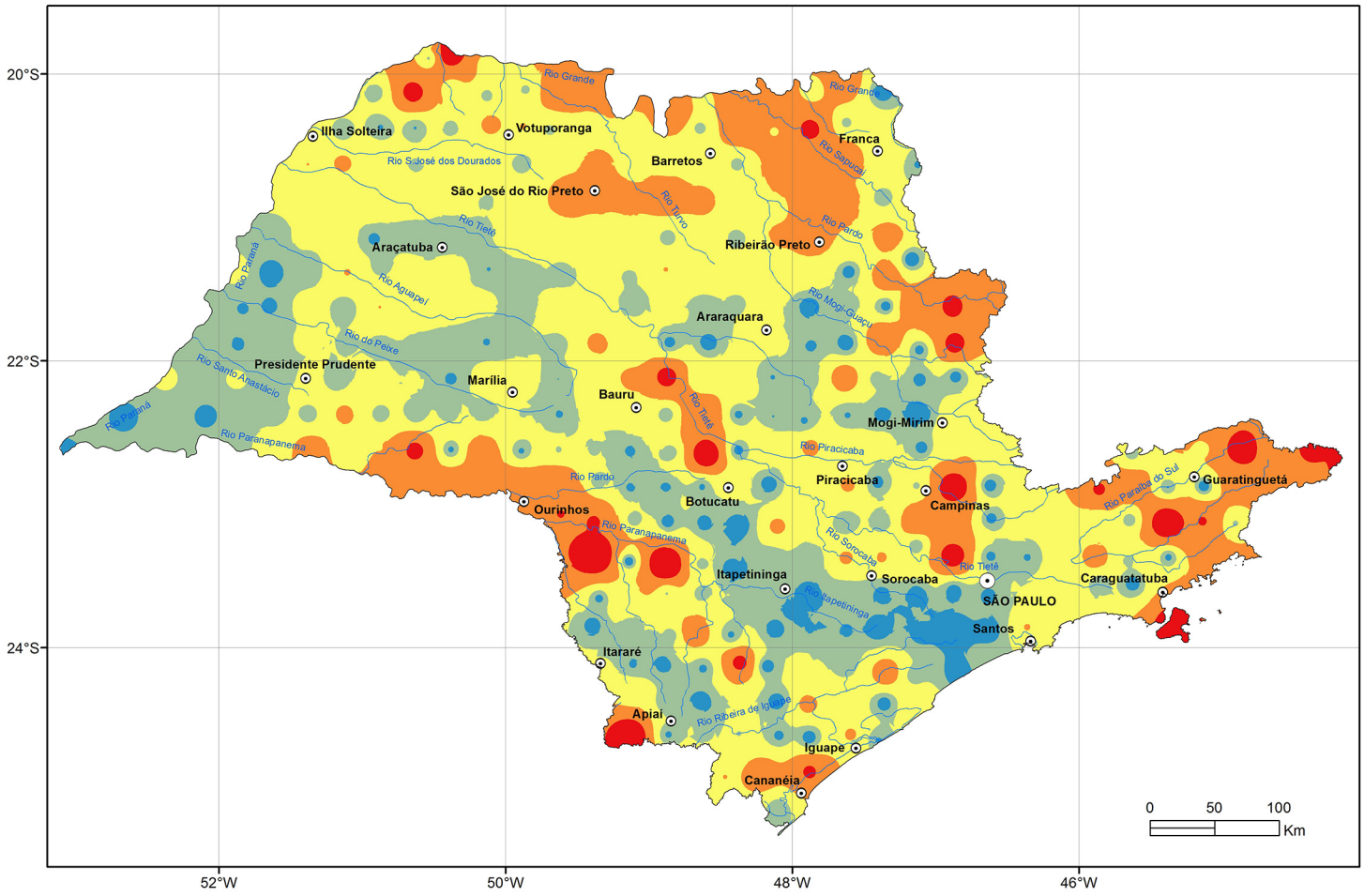


Estatística Descritiva

Elemento	Y
Limite de detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1422
Valor mínimo	0,16
Valor máximo	185,29
Média	8,11
Mediana	4,94
Variância	124,55
Desvio padrão	11,16
Coeficiente de variação	1,4
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	21

Ítrio Y

Solos

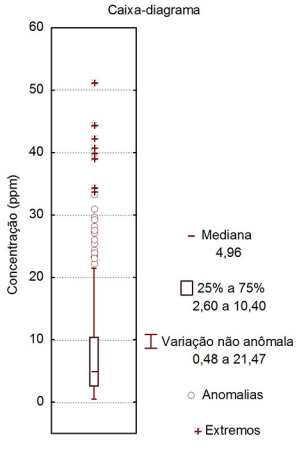


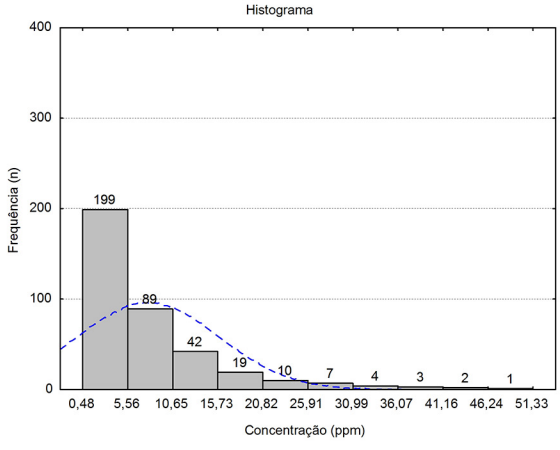
Ítrio (ppm)

- 0,48 a 2,60
- 2,61 a 4,96
- 4,97 a 10,40
- 10,41 a 22,10
- 22,11 a 51,33

Legenda

- Cidade
- Rio

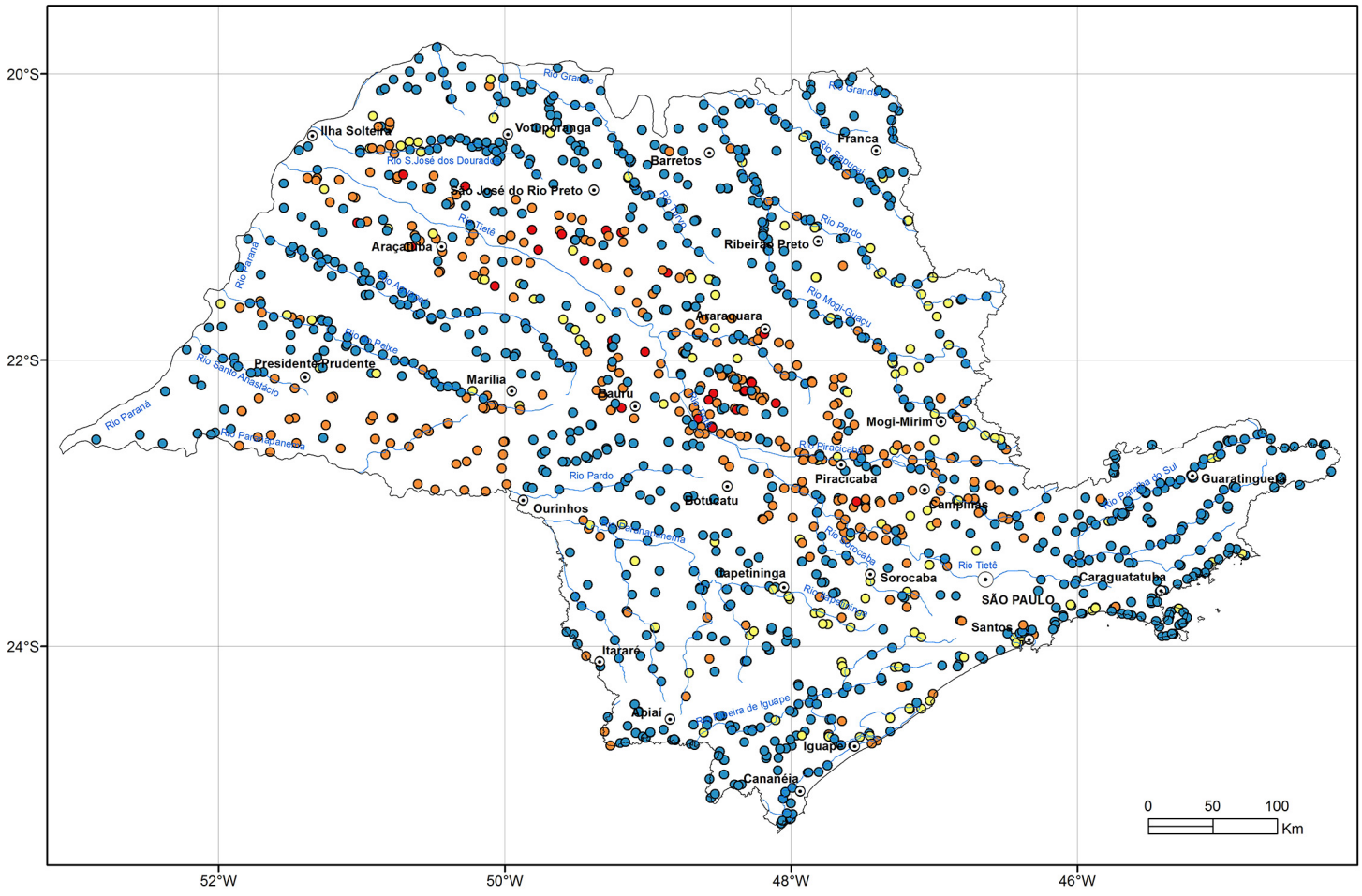




Estatística Descritiva

Elemento	Y
Limite de Detecção (LD)	0,05 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	376
Mediana	4,96
Valor Mínimo	0,48
Valor Máximo	51,33
Média	7,80
Variância	62,96
Desvio Padrão	7,93
Coeficiente de Variação	1,0
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	21

Zinco Zn Águas



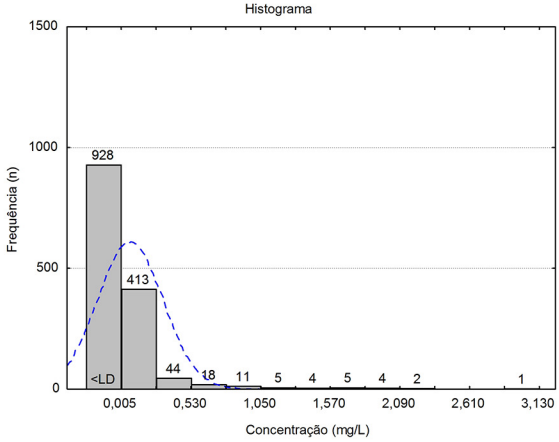
Legenda

- Cidade
- Rio

Zinco (mg/L)

- **<0,005**
- **0,005 a 0,020**
- **0,021 a 0,832**
- **0,833 a 3,020**

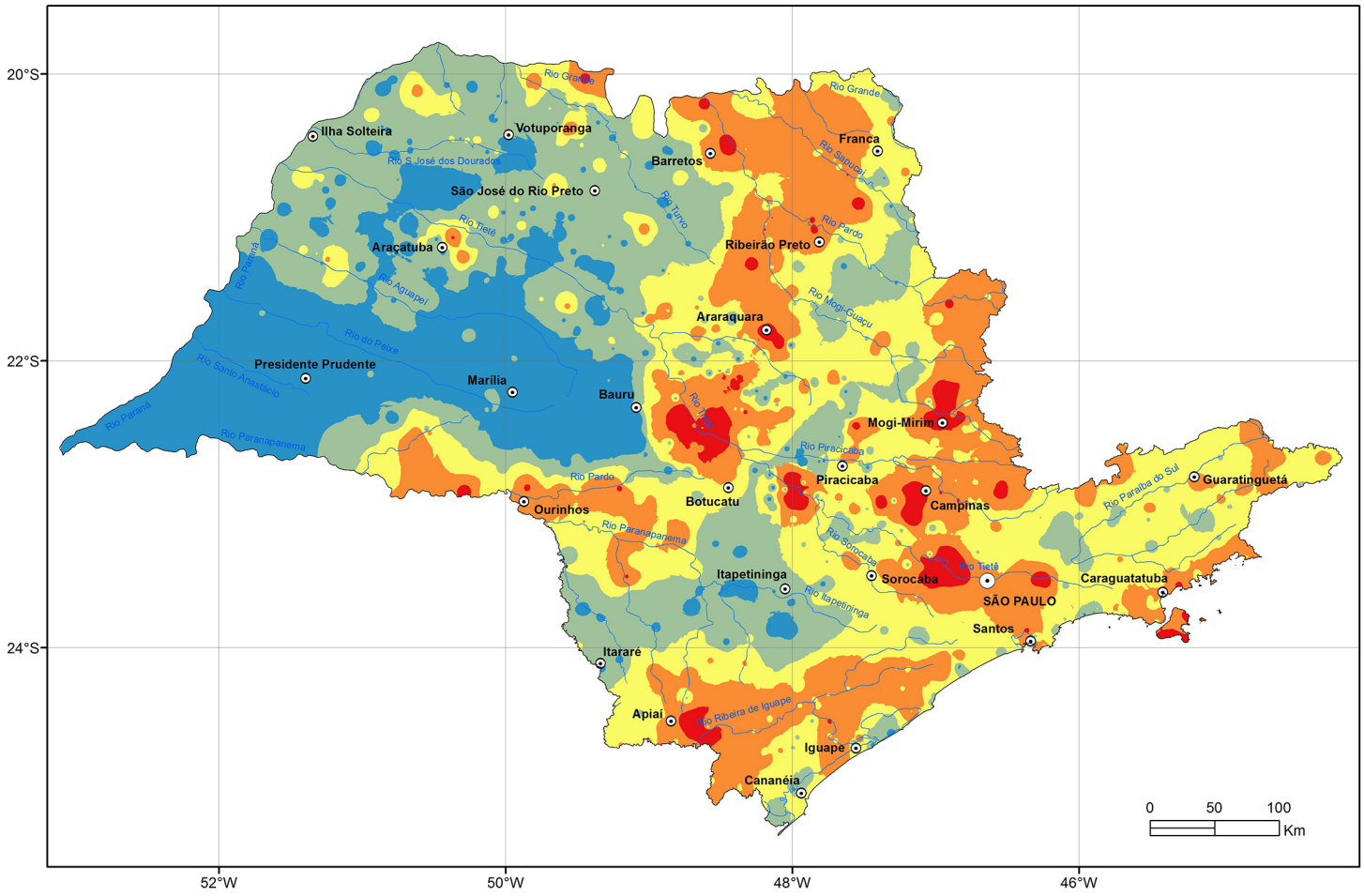
Histograma



Estatística Descritiva

Elemento	Zn
Limite de Detecção (LD)	0,005 (mg/L)
Número de medidas	1435
Resultos > LD	507
Valor Mínimo	<0,005
Valor Máximo	3,020
Média	0,069
Mediana	<0,005
Percentil 75	0,020
Percentil 90	0,135
Percentil 98	0,832
Referência nacional (BRASIL, 2005)	0,18
Referência internacional (CCME, 2018)	0,007
Referência consumo humano (BRASIL, 2011)	5

Zinco Zn Sedimentos

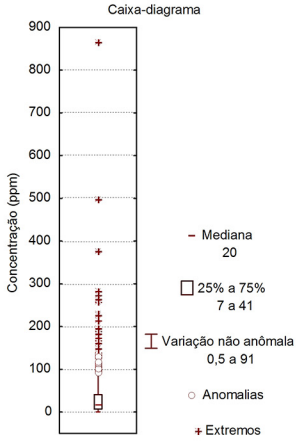


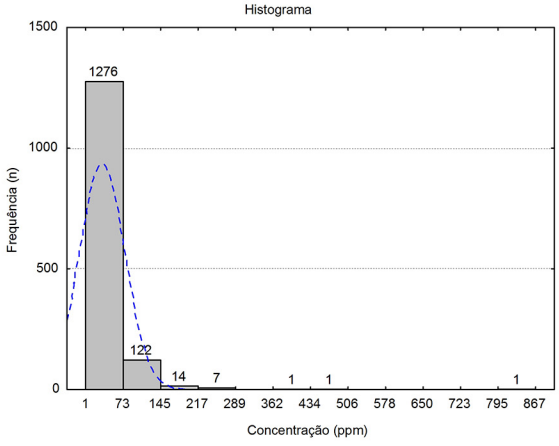
Legenda

- Cidade
- Rio

Zinco (ppm)

- <1 a 7
- 8 a 20
- 21 a 41
- 42 a 92
- 93 a 867

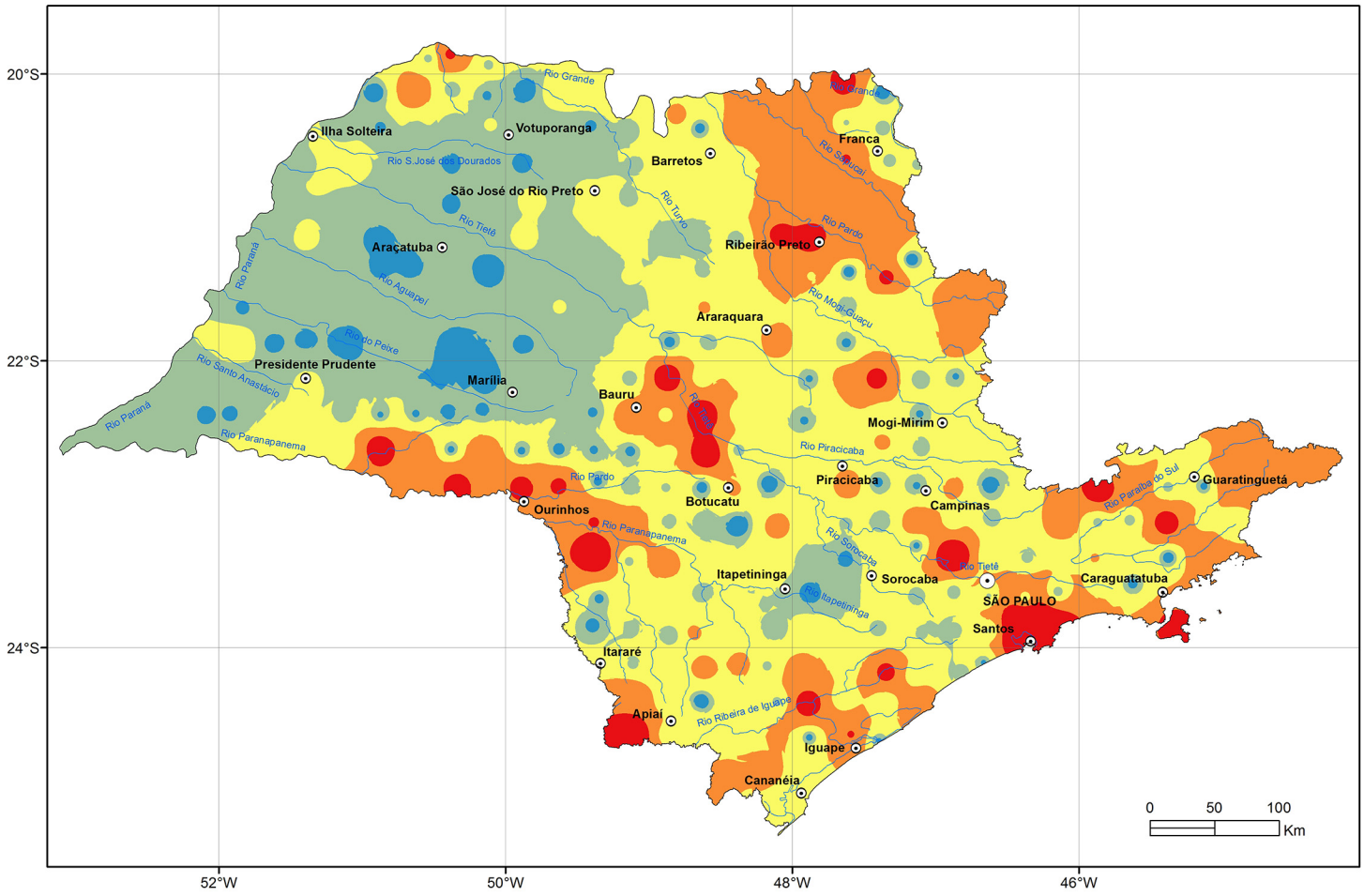




Estatística Descritiva

Elemento	Zn
Limite de detecção (LD)	1 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1415
Valor mínimo	<1
Valor máximo	867
Média	32
Mediana	20
Variância	1.915
Desvio padrão	44
Coeficiente de variação	1,4
Referência nacional (BRASIL, 2012)	123
Referência internacional (Buchman, 2008)	123
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	67

Zinco Zn Solos

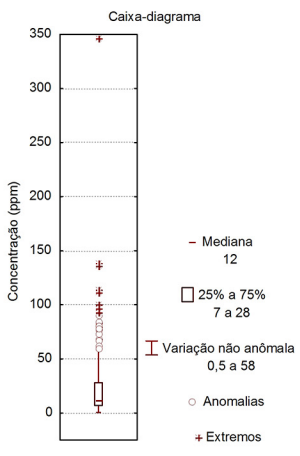


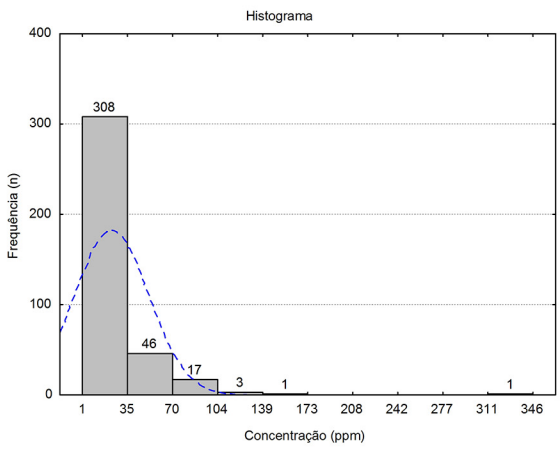
Zinco (ppm)

- <1 a 7
- 8 a 12
- 13 a 28
- 29 a 60
- 61 a 346

Legenda

- Cidade
- Rio

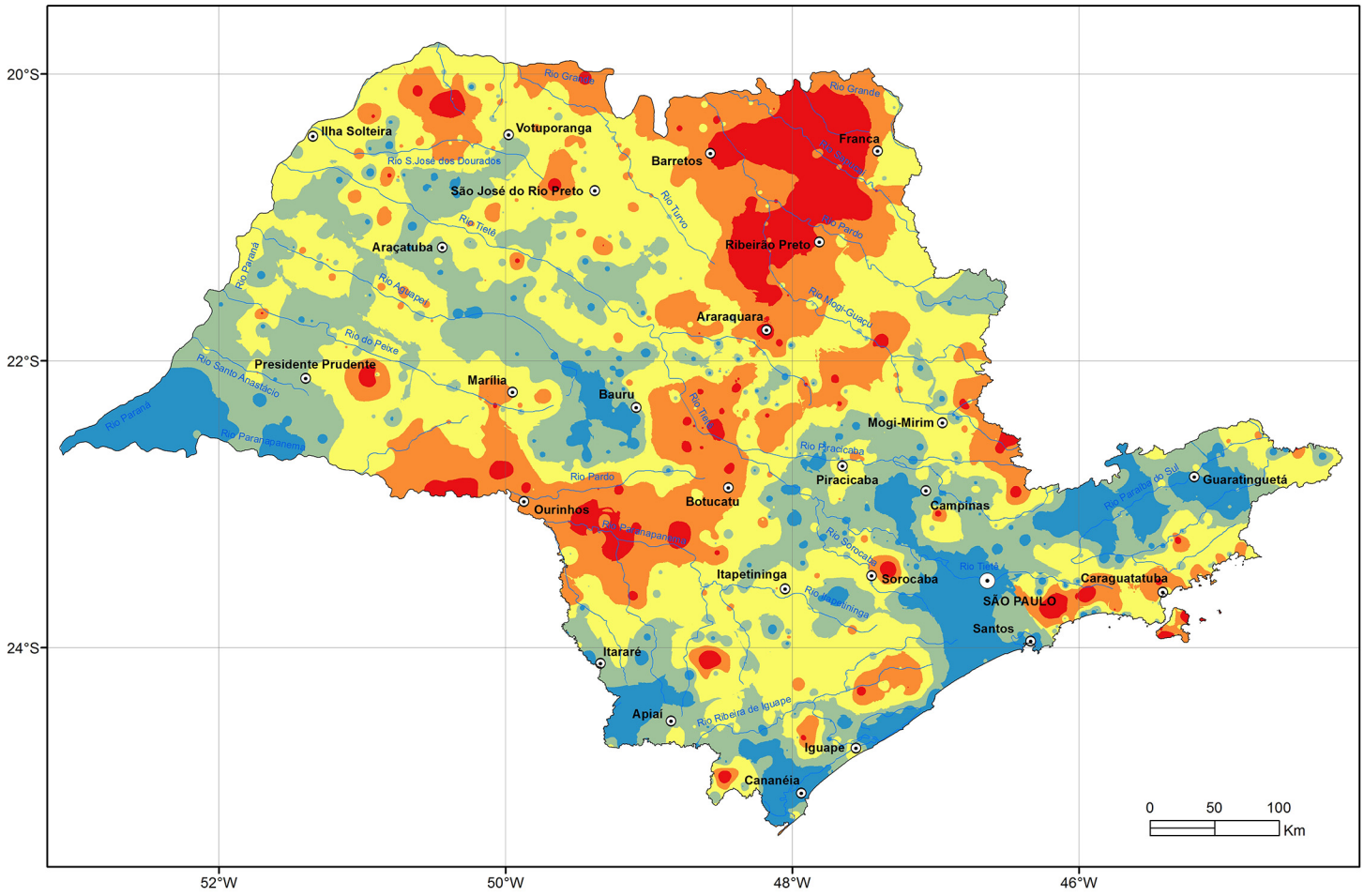




Estatística Descritiva

Elemento	Zn
Limite de Detecção (LD)	1 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	375
Mediana	12
Valor Mínimo	<1
Valor Máximo	346
Média	23
Variância	810
Desvio Padrão	28
Coeficiente de Variação	1,2
Referência nacional (CETESB, 2014)	86
Referência internacional (CCME, 2018)	250
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	67

Zircônio Zr Sedimentos

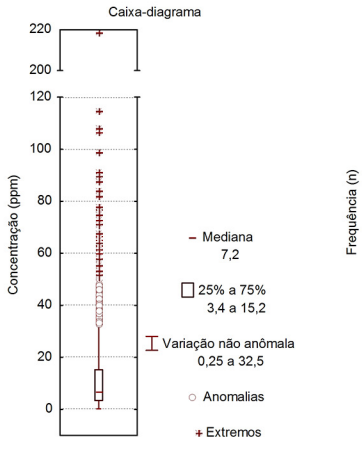


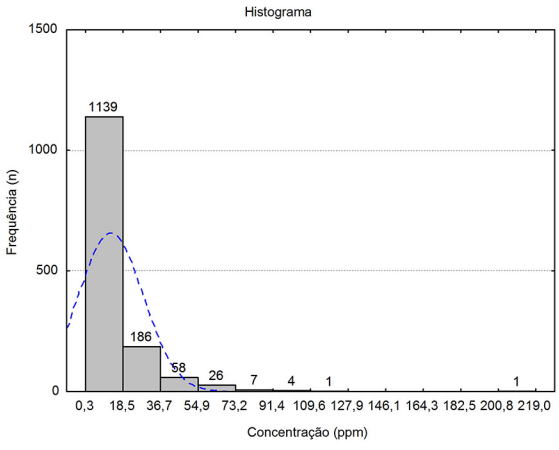
Zircônio (ppm)

- <0,5 a 3,4
- 3,5 a 7,2
- 7,3 a 15,2
- 15,3 a 32,9
- 33,0 a 219,0

Legenda

- Cidade
- Rio



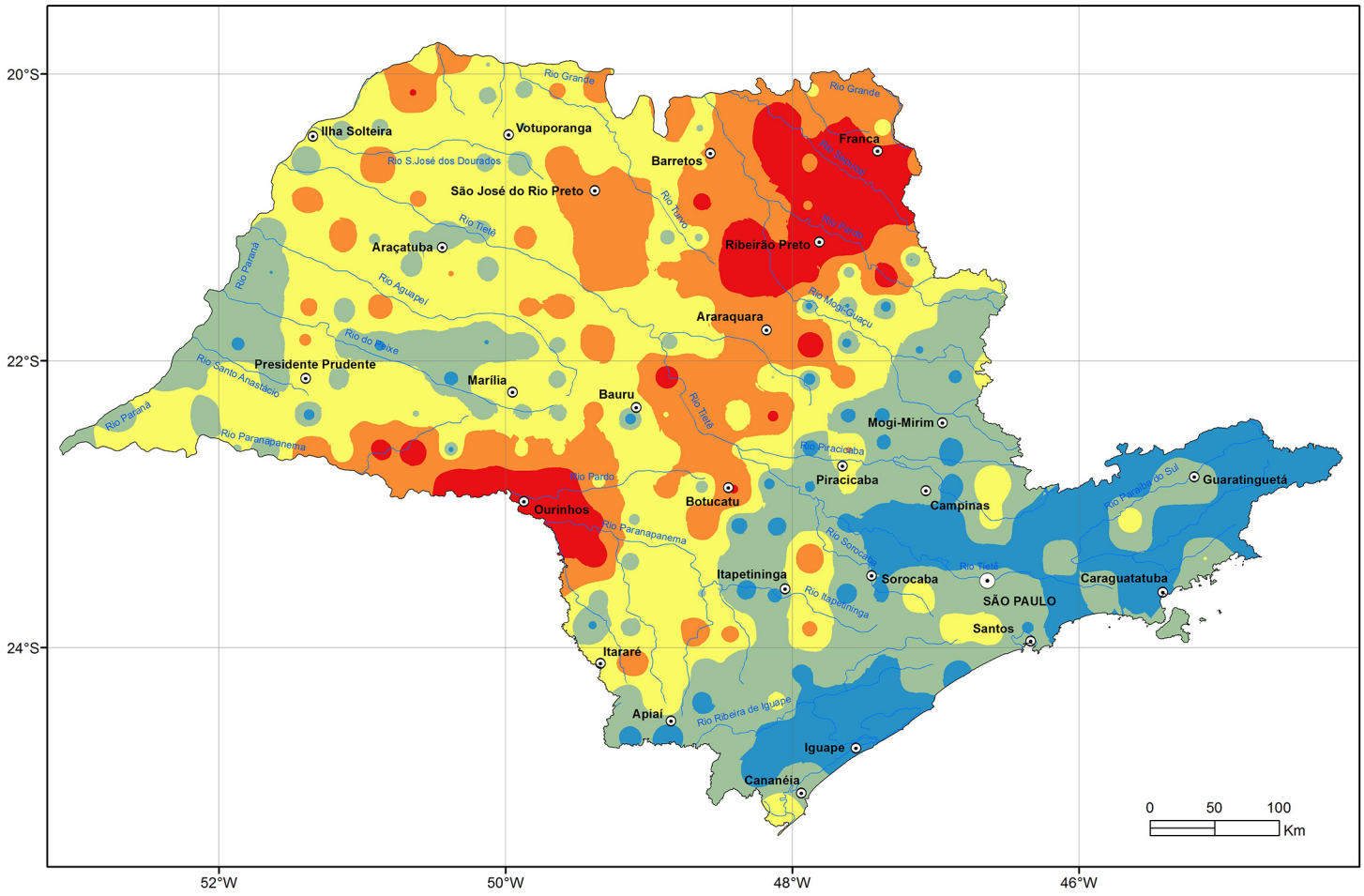


Estatística Descritiva

Elemento	Zr
Limite de detecção (LD)	0,5 (ppm)
Número de medidas	1422
Resultados > LD	1363
Valor mínimo	<0,5
Valor máximo	219,0
Média	12,5
Mediana	7,2
Variância	247,4
Desvio padrão	15,7
Coeficiente de variação	1,3
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Referência crosta superior (Rudnick e Gao, 2003)	193

Zircônio Zr

Solos

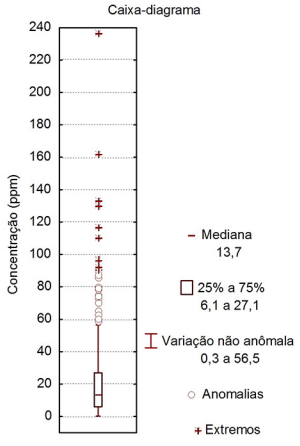


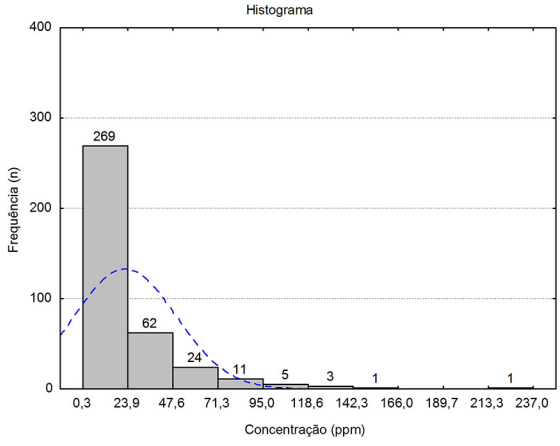
Zircônio (ppm)

- <0,5 a 6,1
- 6,2 a 13,7
- 13,8 a 27,1
- 27,2 a 58,6
- 58,7 a 237,0

Legenda

- Cidade
- Rio





Estatística Descritiva

Elemento	Zr
Limite de Detecção (LD)	0,5 (ppm)
Número de medidas	376
Resultos > LD	367
Mediana	13,7
Valor Mínimo	<0,5
Valor Máximo	237,0
Média	22,3
Variância	713,8
Desvio Padrão	26,7
Coeficiente de Variação	1,2
Referência nacional	-
Referência internacional	-
Média na crosta superior (Rudinick e Gao, 2003)	193

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

AB'SABER, Aziz Nacib. A terra paulista. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 23, p. 5–38, 1956.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATDSR. **Hazardous Substances release**: Health effect database. Atlanta: Public Health Statement, 1995. Disponível em: https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=107. Acesso em: 25 maio 2017.

ALBA, José Maria Filippini; SOUZA Filho, Carlos Roberto; FIGUEIREDO, Bernardino Ribeiro.. Análise da assinatura geoquímica de solos e de sedimentos de corrente no Vale do Ribeira (SP) por meio de um sistema de informação geográfica. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n.1, p. 66-77, mar. 2008.

ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, vol. 41, n. 3, p. 169-263, 1964.

ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de; HASUI, Yociteru; PONÇANO, Waldir Lopes; DANTAS, Agamenon Sergio Lucas; CARNEIRO, Celso Dal Ré; MELO, Mário Sérgio de; BISTRICHI, Carlos Alberto. Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000: nota explicativa. São Paulo: IPT, 1981. v. 1. 125 p. (Monografias, 6).

ANDREWS-JONES, D. Antony. The Application of Geochemical Techniques to Mineral Exploration. Mineral industries bulletin, v. 11, n. 6, p. 1-31, 1968.

BELZILE, Nelson; CHEN, Yu-Wei. Thallium in the environment: A critical review focused on natural waters, soil, sediments and airbone particles. **Applied Geochemistry**, v. 84, p. 218 – 243, set. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.06.013.

BIONDI, João Carlos. Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. 528 p. ISBN 85-86238-31-7

BIONDI, J. C.; FRANKE, N. D.; CARVALHO, Paulo R S de; VILLANOVA, Sandro N. Geologia do deposito de Au Cavalo Branco (Botuvera - SC). **Revista Brasileira de Geociências**, v.37, n.3, p. 445-463, set. 2007.

Bistrichi *et al.* 1981. Mapa geologico do estado de São Paulo.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, ano 142, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema. Acesso em: mar de 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, ano 145, n. 66, p. 64-68, 07 abr. 2008. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema. Acesso em: mar de 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 454, de 01 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, ano 149, n. 216, p. 66-69, 08 nov. 2012. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema. Acesso em: mar de 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria MS 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, ano 148, n. 239, p. 39-46, 14 dez. 2011.

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. **Platinum-group elements.Mineral Profile.** Nottingham, [UK], 2009. 32 p. Disponivel em: https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/download/mineralProfiles/platinum_group_elements_profile.pdf. Acesso em: 27 nov. 2016.

BUCHMAN, Michel F. **NOAA Screening quick reference tables**. Seattle: NOAA, 2008. (NOAA OR & R Report, 08-1). Disponível em: https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/9327. Acesso em: 28 nov. 2016.

CALADO, Bruno de Oliveira. **Geoquímica elemental e isotópica (Sr e Nd) como traçadores de poluentes antrópicos, caso de estudo :** fosfogesso de Cubatão (SP). Orientador: Tassinari, Colombo Celso Gaeta. 2008. 114 p. Dissertação (Mestrado) — Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CARNEIRO, Celso Dal Ré. Os "fundamentos geológicos do relevo paulista" nos dias atuais. São Paulo, **Revista do Instituto Geológico**, v. 39, n. 3, p. 1-8, 2018. doi: https://doi.org/10.33958/revig.v39i3.599.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. **Interim Canadian environmental quality criteria for contaminated sites**. Winnipeg, Manitoba: Environment Canada, 1991. 20 p. ([Report.]EPC-CS34).

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Vanadium (1997). *In*: CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. **Canadian environmental quality guidelines**. Winnipeg, Manitoba: Environment Canada, 1999a.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Molybdenum. *In*: CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. **Canadian environmental quality guidelines**. Winnipeg, Manitoba: Environment Canada, 1999b.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Nitrate Ion. In: CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. **Canadian environmental quality guidelines**. Winnipeg, Manitoba: Environment Canada, 2012.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Cadmium. *In*: CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. **Canadian environmental quality guidelines.** Winnipeg, Manitoba: Environment Canada, 2014.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: beryllium (2015). *In*: CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. **Canadian environmental quality guidelines.** Winnipeg, Manitoba: Environment Canada, 2015.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: zinc (2018). *In*: CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. **Canadian environmental quality guidelines.** Winnipeg, Manitoba: Environment Canada, 2018.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Decisão de Diretoria 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005 e dá outras providências. **Diário Oficial Estado de São Paulo**: Poder Executivo: Seção I. São Paulo, v. 124, n. 36, p. 53, 21 fev. 2014.

CUNHA, Gonçalves da Cunha. **Contaminação humana e ambiental por chumbo no Vale do Ribeira, nos estados de São Paulo e Paraná, Brasil**. 2003. 111f., il. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

DARNLEY, A. G. *et. al*. **A global geochemical database for environmental and resource management**: recommendations for international geochemical mapping final report of IGCP Project 259. Canada: UNESCO, 1995. 132 p., il. (Earth sciences; 19) ISBN 92-3-103085-X

DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral. **Sumário mineral** (2001), Brasília, v. 21, 2001. ISSN 0101-2053. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2001/sumario-parte-1.pdf. Acesso em: maio de 2022.

DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral. **Sumário mineral** (2007), Brasília, v. 26, 2007. ISSN 0101-2053. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2007/sumario-mineral-brasileiro-2007. Acesso em: maio de 2022.

DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral. **Sumário mineral** (2008), Brasília, v. 27, 2008. ISSN 0101-2053. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2008/sumario-mineral-brasileiro-2008. Acesso em: maio de 2022.

DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral. **Sumário mineral** (2009), Brasília, v. 29, 2010. ISSN 0101-2053. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2009/view. Acesso em: maio de 2022.

DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral. **Sumário mineral** (2015), Brasília, v. 35, 2015. ISSN 0101-2053. ISSN: 0101-2053. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2015. Acesso em: maio de 2022.

FALEIROS, Frederico Meira; MORAIS, Silvia Maria; COSTA, Vicente Sérgio. **Geologia e recursos minerais da folha Apiaí SG.22-X-B-V**: escala 1:100.000, estados de São Paulo e Paraná. São Paulo: CPRM, 2012. 107 p. ISBN 9788574991672.

FIGUEIREDO, Bernardino Ribeiro; BORBA, Ricardo Perobelli; ANGÉLICA, Rômulo Simões. Human exposureto arsenicin Brazil. *In:* 2005 WORKSHOP INTERNATIONAL ON MEDICAL GEOLOG: ENVIROMENTAL AND HEALTH EFFECTS OF TOXIC ON MATERIALS GEOLOGICAL FACTOR, Rio de Janeiro, 2005. [**Anais...**] Rio de Janeiro: CPRM, 2010. P.64-69. ISBN 97-88574991-67-2.

HEILBRON, Monica; PEDROSA-SOARES, Antônio Carlos; CAMPOS NETO, Mário da Costa; SILVA, Luiz Carlos da; TROUW, Rudolph Allard Johannes; JANASI, Valdecir de Assis. Província Mantiqueira. *In*: MANTESSO-NETO, Virgínio; BARTORELLI, Andrea; CARNEIRO, Celso Dal Ré; NEVES, Benjamim Bley de Brito (org.). **Geologia do continente Sul Americano**: evolução da obra de Fernando Flávio de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. P. 203-234.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de unidades de relevo do Brasil**: escala 1: 5.000.000. 2.ed. Rio de Janeiro, IBGE, 2006. 1 map. color.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. 2v. Escala 1:1.000.000 (IPT. Monografias, 5).

JOHN, David A. Rhenium: a rare metal critical in modern transportation. Fact Sheet, n. 2014-3101, 2015. Disponível em: https://pubs.usgs.gov/fs/2014/3101/pdf/fs2014-3101.pdf. Acesso em 24 nov. 2022. DOI: https://doi.org/10.3133/fs20143101.

KABATA-PENDIAS, Alina; PENDIAS, Henryk. **Trace elements in soils and plants**. 2.ed. Boca Raton [Flórida]: CRC Press, 1992.

KOLJONEN, T., ed. **The geochemical atlas of Finland:** part 2. Espoo [Finlândia]: Geological Survey of Finland, 1992. 218 p.

LANDIM, Paulo Milton Barbosa *et. al*. Metodologia estatística multivariada em geoquímica. *In*: LICHT, O.A.B.; MELLO, C.S.B.; SILVA, C.R. (ed.). **Prospecção geoquímica:** depósitos minerais metálicos, não-metálicos, óleo e gás. Rio de Janeiro: CPRM, 2007. 778p. P. 619-660.

LEVINSON, Alfred Abraham. **Introduction to exploration geochemistry**. 2.ed. Calgary [Canadá]: Applied Publishing, 1974. 612 p.

LICHT, Otavio Augusto Boni. **Prospecção Geoquímica**: princípios, técnicas e métodos. Rio de Janeiro: CPRM, 1998. 236p.

LICHT, Otavio Augusto Boni; FRIZZO, Sérgio J. Estatística uni e bivariada aplicadas à prospecção geoquímica. *In*: LICHT, O.A.B.; MELLO, C.S.B.; SILVA, C.R. (ed.). **Prospecção geoquímica:** depósitos minerais metálicos, não-metálicos, óleo e gás. Rio de Janeiro: CPRM, 2007. 778p. P. 595-618.

LIMA FILHO, Mário F.; PEDROSA, Fábio J. A.; MEDEIROS, Alberto B.; BRITO, Maria de Fátima I.; ARAÚJO, R. D.; NÓBREGA, Viviane A.; MOTA, Joaquim A. Geologia da Bacia do Cabo - PE. *In*: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 3., 1994, Rio Claro. **Boletim**. Rio Claro: UNESP, 1994. p. 45-46.

LINS, Carlos Alberto Cavalcanti (Coord.); SOUZA, Cláudio José Marques de et al (Colab.). Manual técnico PGAGEM – Brasil. [Recife]: CPRM, set. 2003.

LONG, Keith R. *et. al.* **The principal rare earth elements deposits of the United States**: a summary of domestic deposits and a global perspective. Denver: USGS, 2010. 96 p. (Scientific Investigations Report, 2010–5220). Acesso em: maio de 2022.

LOPES JUNIOR, Idio. **Atlas geoquímico do Vale do Ribeira**: geoquímica dos sedimentos ativos de corrente. São Paulo: FAPESP; CPRM, 2007. 77p.

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antonio Freitas, eds. **Rochas & minerais industriais**: usos e especificações. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 990p. il.

MAIA, Carla Jardim. **Intoxicação aguda por tálio / Acute thallium poisoning**. 2004. 56 p. Monografia (Especialização em Medicina do Trabalho) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

MAPA, Felipe Brito. **Geoquímica multielementar de sedimentos de corrente no estado de São Paulo**: abordagem através da análise estatística multivariada. 2016. Dissertação (Mestrado em Geoquímica dos Processo Exógenos) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

MARTINELLI, Marcello. Clima no estado de São Paulo. **Confins** [online], n.8, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.4000/confins.6348. Acesso em: maio de 2022.

MARTINELLI, Marcello. Relevo do estado de São Paulo. **Confins** [online], n.7, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.4000/confins.6168. Acesso em: maio de 2022.

MILANI, Edison José. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. *In*: MANTESSO-NETO, Virgínio; BARTORELLI, Andrea; CARNEIRO, Celso Dal Ré; NEVES, Benjamim Bley de Brito (org.). **Geologia do continente Sul Americano**: evolução da obra de Fernando Flávio de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. P. 265-279.

MORAES REGO, Luiz Flores de. **Notas sobre a geomorphologia de São Paulo e sua genesis**. São Paulo: Ed Limitada, 1932. 28 p.

MORGENTAL, Antônio; BORIN JUNIOR, Tarcísio; SILVA, Antônio Amaral Gurgel Pereira da; ALEGRI, Valdomiro; OLIVEIRA, Paulo Eduardo Prazeres de; MACHADO, Gilberto José; ADDAS.

MORTATTI, Jefferson; HISSLER, Christophe; PROBST, Jean-Luc. Distribuição de metais pesados nos sedimentos de fundo ao longo da bacia do rio Tietê. **Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 3-11, 2010.

MINERAIS DO PARANÁ. **Atlas geoquímico do estado do Paraná**: geoquímica de águas superficiais. geoquímica dos sedimentos de fundo. Curitiba: MINEROPAR, 2001. 80 p.

MINERAIS DO PARANÁ. **Geoquímica de solo - Horizonte B**: relatório final de projeto. Curitiba: MINEROPAR, 2005. Disponível em: http://twixar.me/4rRm. Acesso em: 08 jul. 2021.

OLIVEIRA, Rafael da Silva; AFONSO, Júlio Carlos. Bromo. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 1, p.66-67, fev. 2013. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35_1/10-EQ-21-11.pdf. Acesso em: 8 de fevereiro de 2017.

OLIVEIRA, J. B. de; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do estado de São Paulo**: legenda expandida. Campinas: Instituto Agronômico; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 64 p. Acompanha 1 map. color., escala 1:500.000 (04 folhas).

PAOLIELLO, Monica Maria Bastos. **Exposição humana ao chumbo em áreas de mineração, Vale do Ribeira, Brasil**. 2002. 239 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Medicas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

PEIXOTO, Eduardo Motta Alves. Cloro. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 17, p. 51, maio 2003. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc17/a13.pdf. Acesso em: 04 dez. 2017.

PEIXOTO, Eduardo Motta Alves. Potássio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 19, p. 47, maio 2004. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a14.pdf. Acesso em: 22 jun. 2017.

PEIXOTO, Eduardo Motta Alves. Escândio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 21, p. 65, maio 2005. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc21/v21a11.pdf. Acesso em: 22 jun. 2017.

PERROTTA, Mônica Mazzini; SALVADOR, Elizete Domingues; LOPES, Ricardo da Cunha; D'AGOSTINO, Liz Zanchetta; CHIEREGATI, Luiz Antonio; PERUFFO, Nazário; GOMES, Sylvio Dutra; SACHS, Liliane Lavoura Bueno; MEIRA, Vinicius Tieppo; GARCIA, Maria da Gloria Motta; LACERDA FILHO, Joffre Valmório de. **Geologia e recursos minerais do estado de São Paulo**: Sistema de Informações Geográficas - SIG. Rio de janeiro: CPRM, 2006. Escala 1:750.000. Programa Geologia do Brasil.

PRIOR, G.T. A New Thallium Mineral. **Nature**, v. 71, n. 1849, p. 534, 06 abr. 1905.

RANKAMA, Kalervo; SAHAMA, Th. G. Fósforo. *In:* RANKAMA, Kalervo; SAHAMA, Th. G. **Geoquímica**. Madri: Aguilar, 1954. P. 543-551.

ROSE, Arthur W.; HAWKES, Herbert E.; WEBB, John S. **Geochemistry in mineral exploration**. 2. ed. London: Academic Press, 1979. 657 p.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches; MOROZ, Isabel Cristina. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo, escala 1:500.000. São Paulo: USP/FFLCH, IPT, FAPESP, 1997. 64 p. (Mapa e nota explicativa).

ROSSI, Marcio. **Mapa pedológico do estado de São Paulo**: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. 118 p.; il.

RUDNICK, R.L.; GAO, S. The Composition of the Continental Crust. **Treatise on Geochemistry**, v. 3, p. 1-64, 2003. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/b0-08-043751-6/03016-4

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Meio ambiente paulista**: relatório de qualidade ambiental 2019. São Paulo: SIMA, 2019a. Disponível em: http://smastr20.blob.core.windows.net/publicacoes/RQA_2019_online.pdf. Acesso em: maio de 2022.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Desenvolvimento Econômico. PRODUTIVIDADE e desenvolvimento sustentável. **Boletim [da Secretaria de Desenvolvimento Econômico]**, São Paulo, v. 1, mar. 2019.

São Paulo (Estado). Secretaria Estadual de Energia e Mineração. **Informe mineral do estado de São Paulo**: ano base 2017. São Paulo, 2018. 47p.

SÃO PAULO (Estado). Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Portal GEOSEADE**. São Paulo, 2019c. Disponível em: https://portalgeo.seade.gov.br/download-de-dados/ Acesso em: jan. 2019.

SÃO PAULO (Estado). 2020. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Subsídios Técnicos para o Plano Estadual de**

Recursos Hídricos: relatório final: volume 3 - Insumos do PERH: tomo IV – aprimoramentos dos limites das UGRHIs em escala 1:50.000. São Paulo: COBRAPE, 2020. Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/ckfinder/files/Volume%203%20Tomo%20IV%20.pdf. Acesso em: maio de 2022.

SETZER, José. **Atlas climático e ecológico do estado de São Paulo**. São Paulo: CESP/Comissão Interstadual da Bacia Paraná-Uruguai, 1966. 61 p.

SILVA, Antero Tomaz dos Santos Ferreira da; FRANCISCONI, Odimo; GODOY, Angela Maria de; BATOLLA JÚNIOR, Fernando; CHIODI FILHO, Cid; TAKAHASHI, Armando Teruo; ALEGRI, Valdomiro; FERREIRA, José Carlos Garcia; SILVA, Cassio Roberto da; ALVES, Miguel José; FRAGA, João Baptista Alves; JOAQUIM, Antônio; SILVA, José Félix da; MACEDO, Arlei Benedito; SILVA, Luiz Antônio; CAFUNDO, José Antônio. **Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira**: Relatório Final. São Paulo: CPRM, 1981. 15 v.

SILVA, Cassio Roberto; VIGLIO, Eduardo Paim; CUNHA, Fernanda Gonçalves; FRANZEN, Melissa; LIMA, Enjolras Albuquerque Medeiros; MAPA, Felipe Brito; CALADO, Bruno. Distribution of germanium in soils in the southeast and part of the northeast of Brazil and its importante for human health. *In*: International Conference on Medical Geology, 7., 2017, Moscou. **Conference Materials [...]** P. 46. ISBN 978-5-89152-021-9. Disponível em: http://medgeo2017.confreg.org/userfiles/ufiles/conference_materials.pdf. Acesso em: maio de 2022.

SISTE, Carlos Eduardo; GIRAO, Enio Giuliano; DUNCAN, Bryan L., orgs. **Manual para formação e capacitação de grupos comunitários em metodologias participativas de monitoramento de qualidade da água – módulo III**: avaliação físico-química. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011. 48 p. (Documentos / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 2179-8184; 135).

TAVARES, T. *et al*. Hydrochemical investigation of barium in the public water supply wells of Sao Paulo state, southern Brazil. **Environ Earth Sci,** v. 74, p. 6599–6612, jun. 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s12665-015-4661-7.

TRAMONTE, Vera Lúcia Cardoso Garcia; CALLOU, Kátia Rau de Almeida; COZZOLINO, Silvia M. Franciscato. Sódio, cloro e potássio. *In:* COZZOLINO, Silvia Maria Franciscato. **Biodisponibilidade de Nutrientes**. 4. ed. Baueri: Manole, 2012. Cap. 23.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2011**. Washington, DC: USGS, 2011. 198p. Disponível em: https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2011.pdf. Acesso em: 24 nov. 2022. DOI: https://doi.org/10.3133/mineral2011.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2019**. Washington, DC: USGS, 2019. 200 p. Thallium: p. 168-169 Disponível em: https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/mcs2019_all.pdf. Acesso em: 25 nov. 2019. DOI: https://doi.org/10.3133/70202434.

VULCAN, Tom. **Rhenium:** son of Moly. Ago. 2005. Disponivel em: https://www.etf.com/sections/features-and-news/1002--rhenium-son-of-moly. Acesso em: 28 nov. 2016.

WEDEPOHL, K.H. 1995. The composition of the continental crust. Geochim Cosmochim Acta. 59:1217–1232

WINTER M. **Web-Elements**. 1998. Disponível em:http://www.shef.ac.uk/~chem/web-elements. Acessado em 14 de junho de 2017.

WHO - World Health Organization. **Guidelines for drinking--water quality**. 3. ed. Geneva: WHO, 2008. V.1: recommendations Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/9789241547611. Acesso em: 13 set. 2010.

ZIENTEK, Michael L.; LOFERSKI, Patricia J. Platinum-Group Elements – So Many Excellent Properties. Fact Sheet, n. 2014-3064, 2014. Disponível em: https://pubs.usgs.gov/fs/2014/3064/pdf/fs2014-3064.pdf. Acesso em: 24 nov. 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.3133/fs20143064.

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA